



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Máster

El bosque periurbano de los montes de Torrero (Zaragoza):
Estructura del arbolado y análisis multitemporal del vigor
vegetal mediante imágenes de satélite (2013-2020).

The peri-urban forest of the Torrero mountains
(Zaragoza): Tree structure and multitemporal analysis of
plant vigor using satellite images (2013-2020).

Autor:

Juan Álvarez de Miranda Ayerbe

Director:

Fernando Pérez Cabello

Máster Universitario en Ordenación Territorial y Medio Ambiental.

Facultad de Filosofía y Letras

2020/2021

Índice general

Índice general.....	1
Índice de figuras.....	3
Índice de tablas.....	5
Resumen.....	7
1. Introducción.....	8
1.1. Bosques periurbanos y su gestión.....	8
1.2. Los montes de Torrero: presentación y antecedentes.....	11
2. Objetivos.....	21
3. Materiales y métodos.....	22
3.1. Explicación del inventario forestal.....	23
3.2. Métodos empleados en la caracterización de los montes de Torrero.....	25
3.2.1. Edad.....	25
3.2.2. Calidad de estación.....	25
3.2.3. Cobertura.....	26
3.2.4. Posición orográfica.....	26
3.2.5. Estado de desarrollo de la masa.....	27
3.2.6. Sotobosque.....	27
3.2.7. Potencial de regeneración.....	27
3.3. Información espectral utilizada.....	27
3.3.1. Imágenes Landsat 8.....	27
3.3.2. Índices de vegetación: el índice de diferencia normalizada de vegetación (NDVI).....	28
3.4. El índice estandarizado de sequía (SPI Standardized precipitation index).....	30
3.5. Análisis estadísticos.....	31
3.5.1. Análisis de la varianza.....	31
3.5.2. Coeficiente de correlación lineal de Pearson.....	32
3.6. Software utilizado.....	32
4. Resultados y discusión.....	33
4.1. Análisis del inventario forestal.....	33
4.2. Análisis de la caracterización de los montes de Torrero.....	39
4.2.1. Edad.....	39
4.2.2. Calidad de estación.....	39
4.2.3. Cobertura.....	39
4.2.4. Posición orográfica.....	39
4.2.5. Estado de desarrollo de la masa.....	39

4.2.6. Sotobosque.....	39
4.2.7. Potencial de regeneración.....	40
4.3. Análisis de la distribución de los niveles de verdor (NDVI) en función de las características del arbolado de los Montes de Torrero.....	44
4.3.1. Relación entre las clases de edad de los árboles y el vigor de la vegetación (Nivel NVDI).....	45
4.3.2. Relación entre la calidad de la estación y el vigor de la vegetación (NVDI).....	46
4.3.3. Relación entre la cobertura del pinar y el vigor de la vegetación (NVDI)...	48
4.3.4. Relación entre la posición orográfica y el vigor de la vegetación (NVDI)...	49
4.3.5. Relación entre el estado de desarrollo de la masa y el vigor de la vegetación (NVDI).....	51
4.3.6. Relación entre el tipo de sotobosque y el vigor de la vegetación (NVDI)...	52
4.3.7. Relación entre los tipos de presencia de regenerado y el vigor de la vegetación (NDVI).....	54
4.3.8. Relación entre los tipos de presencia de piñas y el vigor de la vegetación (NVDI).....	55
4.4. Relación existente entre los niveles del índice de vegetación (NDVI) y las diferentes variables dasométricas obtenidas en el inventario forestal de los Montes de Torrero.....	56
4.5. Evolución temporal (2013-2020) de los niveles de verdor (NDVI) en función de la estructura del arbolado (Montes de Torrero).....	57
5. Conclusiones.....	62
Bibliografía.....	65
Anexo 1. Mapas de valores medios por hectárea para cada celda de las variables dasométricas	67
Anexo 2. Tablas de análisis de las diferencias.Test de Bonferroni.....	71
Anexo 3. Gráficos de dispersión de la relación del NDVI con las diferentes variables dasométricas.....	74

Índice de figuras

Figura 1. Mapa del área de estudio	11
Figura 2. Plano del deslinde administrativo de los Montes de Torrero.....	13
Figura.3 Fotografía aérea montes de Torrero 1926.....	14
Figura 4. Fotografía aérea montes de Torrero 1945/46.....	15
Figura 5. Fotografía aérea montes de Torrero 1998.....	16
Figura 6. Fotografía aérea montes de Torrero 2006.....	18
Figura 7. Rodales con necesidad de claras. Propuestas de actuación del plan de actuaciones forestales del monte de torrero (LIFE12 acción B7).....	19
Figura 8. Rodales propuestos para realización de claras a partir de 10 y 20 años. Propuestas de actuación del plan de actuaciones forestales del monte de torrero (LIFE12 acción B7).....	19
Figura 9. Zonas con posibilidades de reforestación. Propuestas de actuación del plan de actuaciones forestales del monte de torrero (LIFE12 acción B7).....	19
Figura 10. Fotografía aérea montes de Torrero 2018.....	20
Figura 11. Diagrama del flujo de trabajo.....	22
Figura 12. Flujo de trabajo LIDAR para proceso de datos.....	24
Figura 13. Gráfico de altura dominante y límites de calidad según curvas de calidad de estación para <i>Pinus halepensis</i> Mill. e idoneidades fitoclimáticas.....	26
Figura 14. Gráfica Reflectancia IR-R línea de suelo.....	30
Figura 15. Mapa de Volumen con corteza (VCC) de los montes de Torrero.....	34
Figura 16. Mapa de área basimétrica (G) de los montes de Torrero.....	35
Figura 17. Mapa de Incremento anual de volumen con corteza (IAVCC) de los montes de Torrero.....	35
Figura 18. Mapa de diámetro cuadrático (Dg) de los montes de Torrero.....	36
Figura 19. Mapa de número de pies por ha (Np) de los montes de Torrero.....	36
Figura 20. Mapa de altura dominante (Ho) de los montes de Torrero.....	37
Figura 21. Mapa de fracción de cabida cubierta (FCC) de los montes de Torrero.....	37
Figura 22. Mapa de tipo de superficie de los montes de Torrero.....	38
Figura 23. Mapa de zonas establecidas de los montes de Torrero.....	38
Figura 24. Mapa de clases de edad de los montes de Torrero.....	40
Figura 25. Mapa de calidad de la estación de los montes de Torrero.....	41
Figura 26. Mapa de cobertura de los montes de Torrero.....	41
Figura 27. Mapa de posición orográfica de los montes de Torrero.....	42
Figura 28. Mapa de estado de desarrollo de la masa de los montes de Torrero.....	42
Figura 29. Mapa de sotobosque de los montes de Torrero.....	43
Figura 30. Mapa de regeneración natural de los montes de Torrero.....	43
Figura 31. Mapa de presencia de piñas de los montes de Torrero.....	44

Figura 32. Gráfico de medias de clases de edad.....	46
Figura 33. Gráfico medias. Calidad de la estación.....	47
Figura 34. Gráfico medias. Cobertura del pinar.....	49
Figura 35. Gráfico medias. Posición orográfica.....	50
Figura 36. Gráfico de medias. Estado de desarrollo de la masa.....	52
Figura 37. Gráfico de medias. Sotobosque.....	53
Figura 38. Gráfico de medias. Presencia de regenerado.....	55
Figura 39. Gráfico de medias. Presencia de piñas.....	56
Figura 40. . Gráfico medias. NVDI Años 2013-20.....	58
Figura 41. Imagen descarga de página web “monitordesequía”.....	59
Figura 42. Gráfico comparativo anual SPI 24 Años 2013-20.....	60
Figura 43. Gráfico comparativo medias SPI 24 y NVDI.....	61
Figura 44. Gráfico de dispersión correlación NVDI-SPI24 2013-20.....	61
Figura 1A. Mapa de Volumen con corteza (VCC) de los montes de Torrero.....	67
Figura 2A. Mapa de área basimétrica (G) de los montes de Torrero.....	67
Figura 3A. Mapa de Incremento anual de volumen con corteza (IAVCC) de los montes de Torrero.....	68
Figura 4A. Mapa de diámetro cuadrático (Dg) de los montes de Torrero.....	68
Figura 5A. Mapa de número de pies por ha (Np) de los montes de Torrero.....	69
Figura 6A. Mapa de altura dominante (Ho) de los montes de Torrero.....	69
Figura 7A. Mapa de fracción de cabida cubierta (FCC) de los montes de Torrero.....	70
Figura 8A. Grafico dispersión. Volumen con corteza (VCC).....	74
Figura 9A. Grafico dispersión. Volumen con corteza por años.....	74
Figura 10A. Grafico dispersión. Área basimétrica (G).....	74
Figura 11A. Grafico dispersión. Área basimétrica por años.....	75
Figura 12A. Grafico dispersión. Incremento anual Volumen con corteza (IAVCC).....	75
Figura 13A. Grafico dispersión. Incremento anual Volumen con corteza por años.....	75
Figura 14A. Grafico dispersión. Diámetro cuadrático medio (Dg).....	76
Figura 15A. Grafico dispersión. Diámetro cuadrático medio por años.....	76
Figura 16A. Grafico dispersión. Número de pies por ha (Npies).....	76
Figura 17A. Grafico dispersión. Número de pies por ha por años.....	77
Figura 18A. Grafico dispersión. Altura dominante (Ho).....	77
Figura 19A. Grafico dispersión. Altura dominante por años.....	77
Figura 20A. Grafico dispersión. Fracción de cabida cubierta (FCC).....	78
Figura 21A. Grafico dispersión. Fracción de cabida cubierta por años.....	78

Índice de tablas

Tabla 1. Superficie de los montes de Torrero	11
Tabla 2. Usos del suelo en el momento del deslinde del Monte de Torrero (1916).....	13
Tabla 3. Repoblaciones efectuadas en el Monte de Torrero entre 1926 y 1940.....	14
Tabla 4. Clasificación de calidades de la estación.....	26
Tabla 5. Bandas utilizadas por Landsat 8.....	28
Tabla 6. Estadísticos descriptivos Clases de edad.....	45
Tabla 7. Análisis de la varianza Clases de edad.....	45
Tabla 8. Medias Clases de edad.....	46
Tabla 9. Estadísticos descriptivos. Calidad de la estación.....	47
Tabla 10. Análisis de la varianza. Calidad de la estación.....	47
Tabla 11. Medias Calidad de la estación.....	47
Tabla 12. Estadísticos descriptivos. Cobertura del pinar.....	48
Tabla 13. Análisis de la varianza. Cobertura del pinar.....	48
Tabla 14. Medias Cobertura del pinar.....	49
Tabla 15. Estadísticos descriptivos. Posición orográfica.....	50
Tabla 16. Análisis de la varianza. Posición orográfica.....	50
Tabla 17. Medias Posición orográfica.....	50
Tabla 18. Estadísticos descriptivos. Estado de desarrollo de la masa.....	51
Tabla 19. Análisis de la varianza. Estado de desarrollo de la masa.....	51
Tabla 20. Medias Estado de desarrollo de la masa.....	52
Tabla 21. Estadísticos descriptivos. Sotobosque.....	53
Tabla 22. Análisis de la varianza. Sotobosque.....	53
Tabla 23. Medias Sotobosque.....	53
Tabla 24. Estadísticos descriptivos. Presencia de regenerado.....	54
Tabla 25. Análisis de la varianza. Presencia de regenerado.....	54
Tabla 26. Medias Presencia de regenerado.....	54
Tabla 27. Estadísticos descriptivos. Presencia de piñas.....	55
Tabla 28. Análisis de varianza. Presencia de piñas.....	55
Tabla 29. Medias Presencia de piñas.....	56
Tabla 30. Coeficientes de correlación (r) Variables dasométricas.....	57
Tabla 31. Estadísticos descriptivos. NVDI Años 2013-20.....	57
Tabla 32. Análisis de la varianza. NVDI Años 2013-20.....	57
Tabla 33. Medias NVDI Años 2013-20.....	58
Tabla 34. Medias índices SPI y SPEI. Años 2013-20.....	59
Tabla 35. Coeficientes de correlación SPI y SPEI con NVDI. Años 2013-20.....	60

Tabla 1A. Tablas de análisis de las diferencias entre las categorías de Clases de edad...	71
Tabla 2A. Tablas de análisis de las diferencias entre las categorías de Calidad de la estación.....	71
Tabla 3A. Tablas de análisis de las diferencias entre las categorías de sotobosque.....	71
Tabla 4A. Tablas de análisis de las diferencias entre las categorías de Cobertura.....	72
Tabla 5A. Tablas de análisis de las diferencias entre las categorías de posición orográfica.....	72
Tabla 6A. Tablas de análisis de las diferencias entre las categorías de Estado de desarrollo de masa.....	73
Tabla 7A. Tablas de análisis de las diferencias entre las categorías de presencia de Regeneración.....	73
Tabla 8A. Tablas de análisis de las diferencias entre las categorías de presencia de piñas.....	73

Resumen:

Dentro de las áreas forestales, los bosques periurbanos han adquirido un mayor protagonismo en estos tiempos en los que la población tiende a concentrarse en las grandes ciudades. La buena gestión de estos bosques facilita la planificación y diseño de paisajes sostenibles y puede convertir las ciudades en lugares más seguros y saludables.

Este trabajo se desarrolla en los montes de Torrero (Zaragoza) y trata de aportar información sobre cómo influye la estructura del arbolado sobre el vigor de la vegetación con objeto de los técnicos en medioambiente puedan realizar actuaciones para asegurar la permanencia de la masa forestal del monte y que se desarrolle con el mayor vigor posible.

Se ha utilizado información procedente del inventario forestal y de la caracterización de los montes de Torrero realizado en 2014 por el Ayuntamiento de Zaragoza y se han obtenido los datos del índice de vegetación (NVDI) procedentes de la descarga de imágenes satelitales.

Por una parte se estudian estadísticamente mediante el análisis de la varianza la influencia que tienen las categorías establecidas en la caracterización sobre el vigor de la vegetación, y por otro se analiza, mediante el coeficiente de correlación de Pearson, la repercusión de las distintas variables dasométricas en el verdor de la vegetación. Finalmente se estudia la relación de las sequías con la actividad vegetal a lo largo de los años.

Se desprende del estudio que la cobertura del pinar es el tipo de caracterización que tiene una mayor influencia sobre la vegetación, estando a su vez relacionado con la fracción de cubierta, que es la variable dasométrica que mejor correlación tiene con el vigor de la vegetación. Se comprueba también que la actividad vegetal está íntimamente relacionada con las sequías climáticas. Por último se confirma el potencial de los datos de teledetección para hacer predicciones en la gestión forestal.

Palabras Clave: variables dasométricas, gestión forestal, índices de vegetación, bosques periurbanos, inventario forestal, vigor de la masa, índice de sequía, NDVI.

Abstract

Within forest areas, peri-urban forests have acquired a greater role in these times in which the population tends to concentrate in large cities. Good management of these forests facilitates the planning and design of sustainable landscapes and can make cities safer and healthier.

This work is developed in the mountains of Torrero (Zaragoza) and tries to provide information on how the structure of the trees influence the vigor of the vegetation in order for environmental technicians to carry out actions to ensure the permanence of the forest mass of the mountain. and that it develops with the greatest possible vigor.

Information from the forest inventory and the characterization of the Torrero mountains carried out in 2014 by the Zaragoza City Council has been used and the data on the vegetation index (NVDI) from the download of satellite images have been obtained.

On the one hand, the influence of the categories established in the characterization on the vigor of the vegetation is statistically studied through the analysis of variance, and on the other hand, the impact of the different dasometric variables is analyzed using the Pearson correlation coefficient. in the greenery of vegetation. Finally, the relationship of droughts with plant activity over the years is studied.

It is clear from the study that the pine forest cover is the type of characterization that has the greatest influence on the vegetation, being in turn related to the fraction of covered space, which is the dasometric variable that best correlates with the vigor of the vegetation. . It is also found that plant activity is closely related to climatic droughts. Finally, the potential of remote sensing data to make predictions in forest management is confirmed.

Key Words: dasometric variables, forest management, vegetation indices, peri-urban forests, forest inventory, stand vigor, drought index, NDVI.

1.- Introducción

El Trabajo Fin de Máster consiste en la realización de una memoria o proyecto en el que se pongan de manifiesto los conocimientos y habilidades adquiridas, en el campo científico-técnico de la ordenación territorial y medioambiental, y una prueba de que se está capacitado para aplicarlos a casos y situaciones reales.

Los objetivos parciales a conseguir por parte de los estudiantes son:

- Saber detectar la necesidad de efectuar planes de ordenación territorial y medioambiental.
- Saber construir un esquema y secuencia de trabajo para abordar ese plan general o cualquier problema específico de ordenación territorial y medioambiental.
- Aplicar correctamente los métodos y técnicas más convenientes.
- Proponer una o varias alternativas de planificación u organización territorial con la ventajas e inconvenientes de cada una

Todos estos objetivos están alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de Naciones Unidas, para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos. Para contribuir a ello una buena gestión de las áreas forestales urbanas y periurbanas es fundamental.

1.1.- Bosques periurbanos y su gestión

Se definen los bosques urbanos como las redes o sistemas arbolados (bosques o grupos de árboles) situados en áreas urbanas o periurbanas (Salbitano et al., 2017) formando parte de la infraestructura verde de una ciudad o pueblo y conectando la zona urbana con la rural.

Los bosques periurbanos y urbanos se clasifican en cuatro categorías:

- Bosques periurbanos (o metropolitanos): son aquellos situados en el entorno inmediato de una ciudad o pueblo.
- Bosques urbanos propiamente dichos: grandes parques municipales y áreas verdes equipadas parcialmente con instalaciones recreativas.
- Pequeños parques, jardines y áreas verdes equipadas totalmente con instalaciones recreativas.
- Árboles de calles y plazas públicas: árboles aislados, alineados o en grupos.

En los últimos 50 años, la expansión de los cascos urbanos y urbanizaciones ha hecho que muchos bosques, que previamente estaban fuera del ámbito urbano, hayan pasado a considerarse periurbanos y compartan espacio con equipamientos, zonas industriales, urbanizaciones y zonas de agricultura residual.

Los bosques periurbanos se diferencian de los típicamente rurales en las siguientes características:

- Se produce una frecuente presencia humana. Por este motivo, son áreas bastante intervenidas, sujetas a variaciones frecuentes en su estructura y composición y con impactos asociados a las infraestructuras viarias y a la frecuentación (ej. tráfico de vehículos, vandalismo, contaminación).
- Las posibles perturbaciones (incendios, tormentas, nevadas o plagas) suponen un riesgo para las vidas humanas y las infraestructuras. Estos riesgos pueden ser directos (caída de árboles, daños por fuego, etc.) o indirectos (humo, bloqueo de accesos de entrada y salida, etc.).
- Se mezclan flora y fauna típica de los espacios forestales con las propias de zonas urbanas: por ejemplo, los gatos domésticos se han convertido en depredadores en zonas forestales, mientras que especies silvestres como el jabalí acceden a zonas urbanas, con impactos sociales negativos.

- Proliferación de plantas exóticas o invasoras, sobre todo en el sotobosque, provenientes de jardines o de comportamientos negligentes (ej. plantaciones espontáneas de especies inadecuadas).
- Fuerte percepción estética y paisajística de estos bosques por parte de los habitantes. Esto lleva a que cualquier cambio que se produce (ej. cortas, plagas, enfermedades) genera impacto social y, como consecuencia, una presión al gestor y a la administración sobre cómo y cuándo intervenir.

Se puede decir en resumen que se trata de bosques donde coexisten condiciones forestales y urbanas y que tienen una importancia capital a nivel ecológico, social y recreativo.

Los bosques periurbanos aportan a la sociedad unos beneficios gracias al propio funcionamiento de los ecosistemas mejorando el medio y la calidad de vida de las ciudades o pueblos que rodean.

Entre otras cosas proporcionan biodiversidad, formación del suelo, fotosíntesis, regulación del ciclo del agua, protección del suelo frente a escorrentía y erosión, madera, agua, setas, carne de caza, plantas ornamentales o condimentarias, beneficios no materiales relacionados con estética, ocio o cultura, etc. Al conjunto de todos estos beneficios se les denomina servicios ecosistémicos.

En las zonas periurbanas se produce una interacción especialmente intensa entre sociedad y bosque periurbano debido a la facilidad de acceso al bosque por la población local. En general, hasta mediados del siglo XX se produjo en nuestro contexto un aprovechamiento intenso de los bosques, en especial de madera, leña y pastos, y desde entonces se produce frecuentemente una doble situación:

- En los espacios de más fácil acceso ha habido un aumento de la presión urbanística que ha incrementado la presencia humana en el bosque (actividades de ocio principalmente en fines de semana, días festivos y acontecimientos concretos) y también el riesgo de incendios forestales con peligrosidad de éstos para personas, viviendas e infraestructuras.
- El resto del bosque (incluidos muchos campos y pastizales próximos o intercalados con la masa forestal) ha sufrido un proceso de abandono, con un incremento y densificación de la cubierta forestal, que lleva asociados nuevos problemas: baja vitalidad de los árboles y alta vulnerabilidad a la sequía, a enfermedades y a generar grandes incendios.

A las circunstancias especiales de los bosques periurbanos en particular se unen los problemas de conservación de los ecosistemas forestales en general. Al margen de los impactos directos de algunas actividades antrópicas sobre los bosques como la deforestación o los incendios provocados, los efectos del calentamiento global están teniendo un importante impacto sobre la conservación y estabilidad de las comunidades forestales a nivel global, incidiendo de forma muy negativa en muchas zonas del planeta en las que se han registrado eventos de decaimiento o declive del bosque a menudo asociados a elevadas tasas de mortalidad (Allen et al., 2010).

Las causas que se atribuyen al decaimiento del bosque pueden ser varias: la contaminación atmosférica, los cambios en el uso del suelo, el manejo de los bosques o el cambio climático.

Considerando los problemas existentes y teniendo en cuenta los beneficios que nos proporcionan los bosques, es muy importante protegerlos y, para ello, los tenemos que gestionar de manera adecuada.

La gestión de un monte en un periodo determinado puede dar lugar a intervenciones de diversa índole en diferentes áreas del mismo: en algunas se pueden plantear intervenciones focalizadas en reducir el riesgo de incendios y que además permitan obtener leña; en otras puede programarse un aprovechamiento de madera con criterios de selvicultura naturalista

promoviendo la regeneración del bosque y en otras puede establecerse su mantenimiento en evolución natural. Todas las decisiones deben ser tomadas de acuerdo a una adecuada caracterización, y en conjunto deben contribuir a la preservación de los múltiples servicios ecosistémicos del bosque y a su adaptación al cambio climático. Cuanto más completo sea el estudio del bosque y más información tengamos sobre todos sus aspectos, más fácil será que la decisión que se tome acerca de la gestión del monte sea la correcta.

En 2015, la comunidad mundial adoptó un conjunto de objetivos globales (Objetivos de Desarrollo Sostenible - ODS) para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible.

En este contexto, las áreas forestales urbanas y periurbanas tienen un papel fundamental en la consecución de buena parte de los ODS. Los montes y áreas agroforestales de los entornos urbanos y periurbanos, si están gestionadas adecuadamente, pueden contribuir enormemente a la planificación, diseño y gestión de paisajes sostenibles y resilientes. De esta manera se ayuda a convertir a las ciudades en lugares más placenteros, atractivos y saludables para vivir, además de más seguros, más ricos y más diversos. En caso de no estar bien gestionados, no solo no mejorarán los aspectos citados, sino que pueden llegar a suponer incluso amenazas para la salud y seguridad de los habitantes urbanos.

Por todo ello la silvicultura urbana y periurbana proporciona unos servicios ecosistémicos esenciales a las comunidades urbanas y periurbanas y por ello es una solución económica para mejorar la salud humana y la calidad de vida, una solución innovadora, basada en la naturaleza, para muchas exigencias sociales y culturales, una opción inteligente para afrontar las repercusiones negativas de la urbanización. Puede mejorar los impactos directos del cambio climático sobre las personas y garantizarles un lugar en el cual lograr el bienestar físico y mental.

En el marco normativo europeo, todo este impulso al desarrollo de acciones sobre los montes periurbanos se refleja tanto en el objetivo 3.3 como en la acción clave 12 del plan de acción de la UE que a continuación se citan:

-Objetivo 3.3. Contribuir a la calidad de vida conservando y mejorando las dimensiones social y cultural de los bosques.

Los bosques proporcionan bienes y servicios que benefician a los ciudadanos, su salud y su calidad de vida, incluidas zonas recreativas en los espacios urbanos y rurales, ocupación e ingresos para millones de personas y la protección del suelo y las aguas contra la erosión, la desertización y los peligros naturales. Para contribuir a la calidad de vida a través de la conservación y la mejora de las dimensiones social y cultural de los bosques, los Estados miembros, dentro de sus prioridades cuentan con la posibilidad de fomentar las inversiones que potencien el valor de los bosques en concepto de zona recreativa pública.

-Acción clave 12: Explorar el potencial de los bosques urbanos y periurbano.

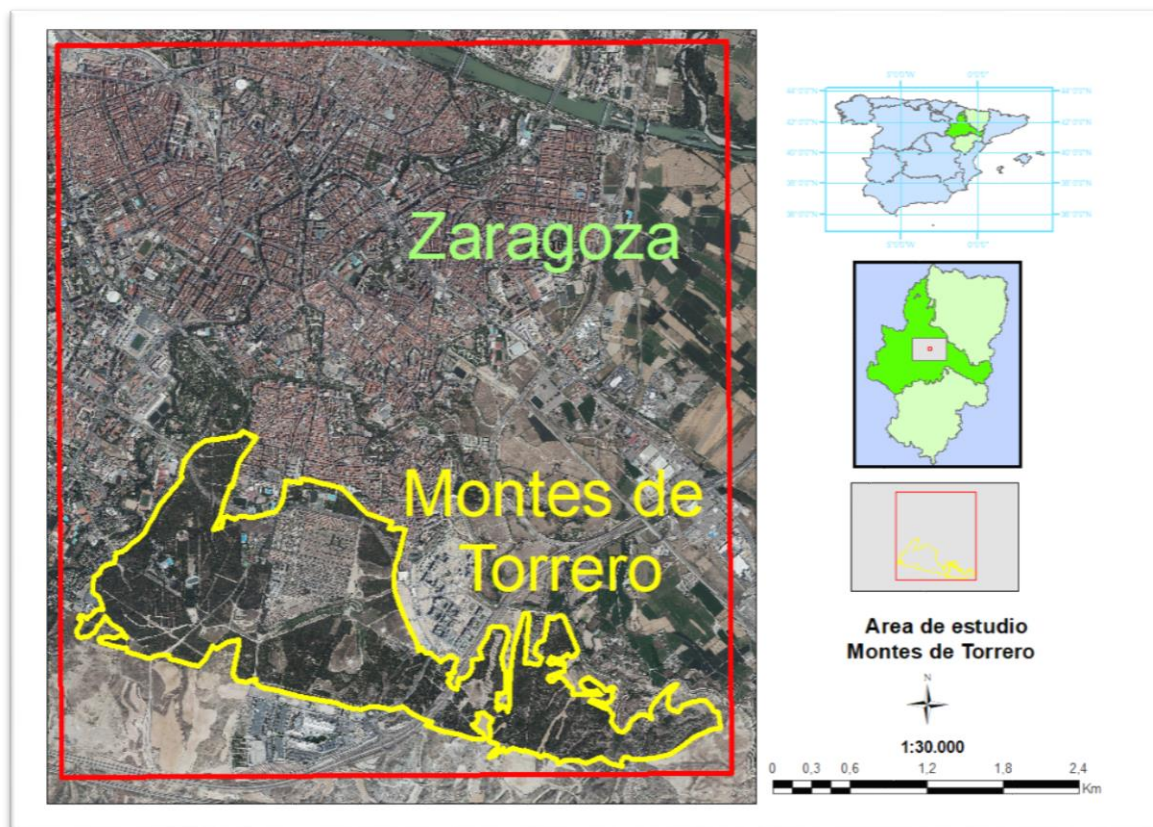
Para muchos europeos, el bosque urbano es el principal medio de contacto con los beneficios y valores de la naturaleza. La planificación, creación y gestión de los bosques urbanos y periurbanos imponen nuevas demandas a los gestores forestales, concretamente en cuanto al compromiso y respuesta de la población local que pueda verse afectada o espere beneficiarse de las operaciones forestales. A partir de los trabajos científicos, la Comisión y los Estados miembros:

- revisarán e integrarán metodologías para evaluar el impacto social y humano de los bosques urbanos y periurbanos con vistas a establecer indicadores adecuados a largo plazo y marcos robustos para guiar la inversión y la gestión futuras;*

- explorarán estructuras para comprometer a la población local y las partes interesadas no tradicionales en la planificación, creación, gestión y uso de los bosque urbanos y periurbanos.*

1.2.- Los montes de Torrero: presentación y antecedentes.

El área del estudio en el que se desarrolla el trabajo son los montes de Torrero que se encuentran situados al sur de la ciudad de Zaragoza (Figura 1), capital de la comunidad autónoma de Aragón. Se encuentra clasificado en la categoría de bosques periurbanos estudiados en el punto anterior.



La superficie total de los montes de Torrero es de 471,21 ha (Tabla1) entre las cuales están incluidas construcciones, como el cementerio de Torrero o el parque de atracciones, superficie ocupada por vías de comunicación (carreteras y caminos), parques y jardines, parcelas de uso agrícola y superficie forestal.

TIPO DE SUPERFICIE	Superficie (ha)
Masa forestal	315,64
Construcciones	122,21
Vías de comunicación	18,3
Parques y jardines	5,88
Uso agrícola	6,39
Cortafuegos	1,59
Escombrera	1,2
TOTAL	471,21

Tabla1. Superficie de los montes de Torrero. Fuente Ayuntamiento de Zaragoza.

El principal uso de los montes de Torrero es el uso público como lugar de esparcimiento y ocio de la población de Zaragoza. Otro tipo de usos son el agrícola y el ganadero, principalmente ganado ovino.

Por otra parte, este pinar ejerce una función muy importante en cuanto a la protección de suelos y aumento de la biodiversidad en un espacio donde no existe ninguna otra masa de similares características. Se puede decir que constituye una isla verde y un refugio para la fauna que tiene su hábitat en el corredor verde del río Ebro.

Los montes de Torrero se encuentran ubicados en el valle del río Ebro, que discurre a pocos km del mismo. Más cerca, limitándolo por el oeste, se encuentra el valle del río Huerva, afluente del Ebro.

El clima del terreno donde se encuentra se puede clasificar en función de los diferentes índices climáticos como Zona Árida Continental con Influencia Mediterránea, esto se traduce en un clima con una amplia sequía estival, con una media de precipitación anual por debajo de los 350 mm, y en unos cambios de temperatura muy bruscos invierno/verano, teniendo un periodo de helada segura de 5 meses.

Este terreno tiene un relieve suave ya que el 54% de la superficie del mismo tienen una pendiente inferior al 10% y el 84% inferior al 20%. La altitud media se encuentra entre 200 y 300 m.

La masa forestal del monte Torrero se asienta en su totalidad sobre suelos calcáreos con cierto contenido en yesos más o menos abundantes dependiendo de la zona del monte en la que nos encontremos.

La masa forestal está compuesta casi exclusivamente por pino carrasco (*Pinus halepensis*) ya que es la especie de pino más adaptada a las condiciones ambientales del Valle del Ebro, resistiendo la fuerte sequía, los suelos pobres y lo fríos extremos. Además, hay una presencia testimonial de pino piñonero (*Pinus pinea*) y anecdótica de pino canario (*Pinus canariensis*).

Los montes de Torrero constituyen un espacio que desde hace unos siglos ha sido aprovechado por la población zaragozana mediante diferentes usos, transformándose su fisonomía lentamente en la trama urbana de nuestra ciudad.

Las referencias más antiguas nos hablan del Monte como una zona cubierta de un extenso pinar de poca entidad que perduró hasta el siglo XVII. Se tiene conocimiento de que, en estos montes tuvo lugar una transformación que dio lugar a la aparición de viñedos como consecuencia de las condiciones climáticas y de las características del suelo de la zona. (Madoz, 1806-1870).

Con las “Ordinaciones y Estatutos de la Ciutat de Çaragoça” establecidas en el siglo XVI se limitó el número de plantaciones de viñas imponiendo fuertes multas a los contraventores, lo que dio lugar a una disminución de la superficie ocupada por viñedos. (Savall y Dronda et al, 1862)

Con la llegada de las aguas del Canal Imperial de Aragón a Zaragoza en 1782 la capacidad de usos agrícolas del monte de Torrero aumentó, transformando en regadío gran parte del entorno dando entrada a cultivos hortícolas y árboles frutales de varias especies en sustitución del viñedo.

La escasa población que vivía en el barrio de Torrero en el siglo XIX desarrollaba actividades relacionadas con la agricultura y también las derivadas de la presencia del cementerio instalado en el año 1834. Poco a poco y con el transcurrir de los años el barrio fue adquiriendo una mayor diversidad económica con actividades tanto del sector industrial como del estratégico militar. A esto último contribuyó el establecimiento en este enclave dominante y distante con respecto a la ciudad del polvorín que hacía necesarias labores de mantenimiento.

En el año 1906 el arquitecto Burbano redacta el Primer Plan del Ensanche por el que la ciudad de Zaragoza comienza a desarrollarse hacia el sur, y es entonces cuando se plantea la creación de un gran parque en la zona del Cabezo Buenavista. Allí se realizó una primera repoblación en el año 1914 aprovechando “el día del árbol” del cual se decía que no había un zaragozano de la época que no hubiera plantado un pino con sus propias manos. De estas primeras repoblaciones forman parte 6.000 pinos piñoneros, 35.590 pinos carrascos y algunos eucaliptos de la especie *rostrata*.

Entre los años 1914 y 1916 tiene lugar el deslinde administrativo del monte, pasando a ser denominado como Restos de Torrero, y la publicación del consiguiente informe en el Boletín Oficial Provincial del 15 de febrero de 1916. La superficie total apeada fue de 702 ha, siendo de propiedad municipal en aquel entonces algo menos de la mitad de dicha superficie, en concreto, y tal como se refleja en el informe del deslinde, un total 335,0926 ha. Desde su creación, el monte quedó bajo la tutela del Servicio de Montes del Ayuntamiento de Zaragoza.

En el documento del deslinde se indica la subdivisión del Monte en 14 zonas para poder determinar la superficie pública y privada existente en el conjunto del estudio.

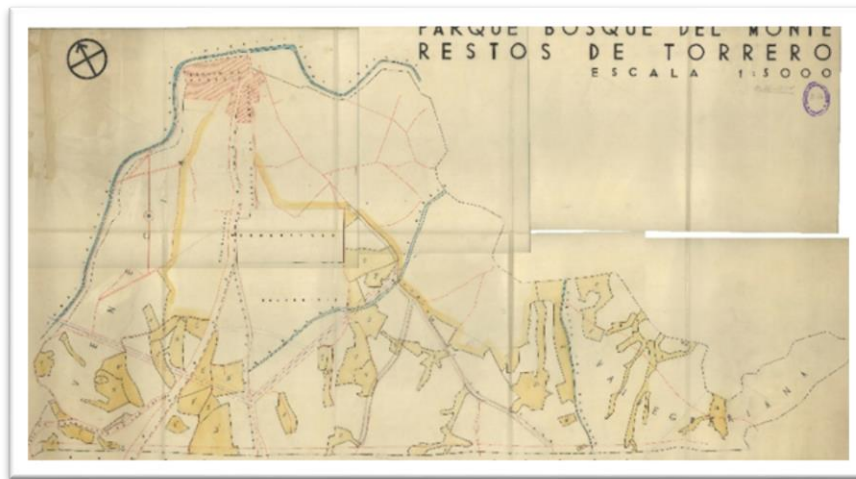


Figura 2. Plano del deslinde administrativo del Monte de torrero. Fuente proporcionada por la unidad de conservación del medio natural de Zaragoza

En aquel entonces, al suelo de propiedad municipal del Monte de Torrero se le daba los usos que figuran en la tabla 2.

Usos del suelo	Superficie (ha)
Cereal y vid	97,5314
Repoblación forestal	15
Terreno de pastos y leñas	222,5612
TOTAL	335,0926

Tabla 2. Usos del suelo en el momento del deslinde del Monte de Torrero (1916).Fuente información facilitada por el Ayuntamiento de Zaragoza

Tal y como se ha comentado anteriormente, ligado al Monte se va desarrollando la creación de un parque que, en el Plan del Ensanche de 1924 se desarrolla con mayor detalle, ejecutándose sobre las huertas del Huerva, siendo inaugurado por el general primo de Rivera en 1927.

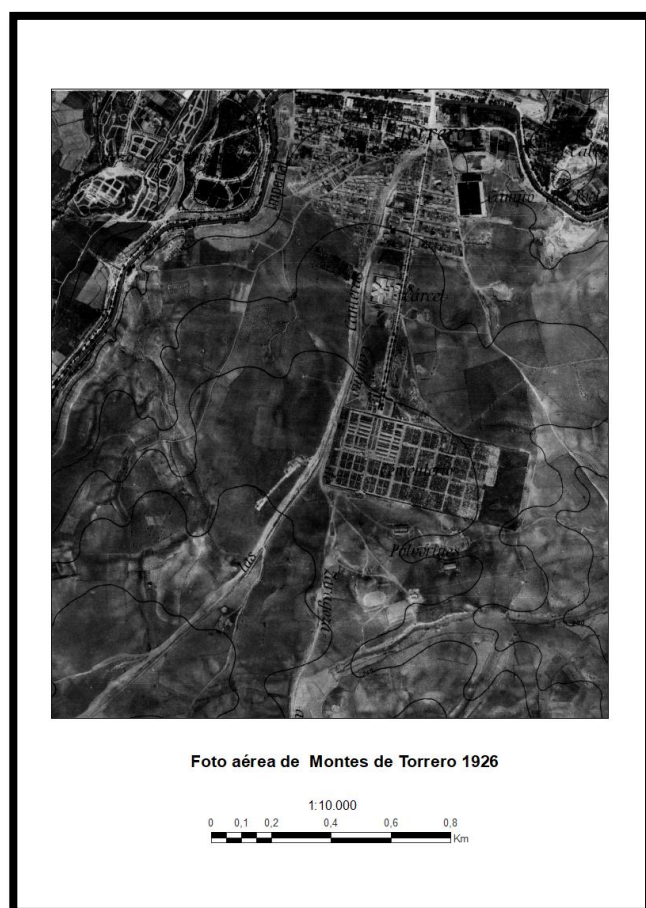


Figura 3.-Fotografía aérea proporcionadas por la unidad de conservación del medio natural de Zaragoza

En informes fechados en los años 1941 y 1942, se detallan las repoblaciones sucesivas efectuadas en el periodo entre 1926 y 1940 en los terrenos desarbolados del Monte de Torrero repoblaciones y que se resumen en la Tabla 3. En ellas se plantaron alrededor de 340.000 pinos, de los cuales la gran mayoría fueron *Pinus halepensis*, aunque también se introdujeron especies como *Pinus pinea* y *Pinus pinaster*.

Año	Pinos plantados	Año	Pinos plantados
1926	2.805	1934	18.000
1927	6.543	1935	12.000
1928	6.543	1936	18.000
1929	5.600	1937	19.000
1930	5.000	1938	10.620
1931	6.650	1939	10.087
1932	7.790	1940	200.000
1933	12.000	Total	340.638

Tabla 3. Repoblaciones en el Monte de Torrero entre 1926 y 1940. Fuentes Servicios municipales



Figura 4. Fotografía aérea proporcionada por la unidad de conservación del medio natural de Zaragoza

Poco después, en el año 1943 se redactó el Anteproyecto de Ordenación por el arquitecto Yarza en el que ya preveía la realización un cinturón perimetral alrededor de Zaragoza atravesando el Monte de Torrero por la zona por la que actualmente discurre el Tercer Cinturón, creando una zona urbanizada al norte (barrio de Torrero), con espacios abiertos en su zona este y el espacio forestal al sur del mismo. Aunque este proyecto no se llevó a cabo, este mismo arquitecto volvió a plantear un esquema similar en la propuesta del Plan General de Ordenación Urbana de 1959.

Ya en el año 1972, el Ayuntamiento acordó que la dirección técnica del Monte se trasvasase del servicio de Montes al de Parques y Jardines, teniendo en cuenta que la expansión urbanística y el uso ciudadano convertían a este espacio en una zona verde de carácter periurbano más que en un monte de aprovechamiento forestal.

Esta gestión compartida propició que en el año 1975, tras realizar un estudio vegetativo de la masa, el personal técnico del Servicio de Parques y Jardines propusiera la realización de una serie de aclareos en las masas de pinar. Una vez obtenida la autorización, se ejecutaron dichos aclareos en diversas parcelas del monte, en las cuales se extrajeron pies para ser trasplantados a lugares fuera del monte. Los árboles extraídos fueron utilizados en plantaciones lineales en diversas calles de la ciudad de Zaragoza, siendo donados algunos de ellos a particulares.

No obstante, los citados trabajos realizados fueron calificados por los expertos como insuficientes, ya que quedaron parcelas sin tratar en vista de que la excesiva talla de los individuos impedía que los árboles pudieran ser trasplantados según las necesidades de la masa. Además, para entonces los montes de Torrero ya estaban siendo seriamente afectados por el ataque en forma de plaga de un insecto perforador, el escolítido *Tomicus piniperda* L. Todo ello hizo que el Servicio de Parques y Jardines propusiera la reducción drástica de la densidad del

pinar para asegurar la persistencia en el futuro del arbolado. Finalmente, esta propuesta no pudo ser ejecutada en ese momento lo que propició una situación con un arbolado más debilitado y con una excesiva densidad que imposibilitaba su regeneración natural, yendo en detrimento de su vigor vegetativo y su estado sanitario.

En ese mismo año 1975 se inauguró el Parque de Atracciones, dentro de la zona deslindada del Monte de Torrero. Esto provocó un aumento de la concentración de público hacia ese punto que supuso un incremento de la presión social del espacio forestado.

Con objeto de evaluar las posibilidades de captación de agua subterránea del monte para que sirviera como agua de riego, el Ayuntamiento encarga un estudio en año 1986. Tras realizar prospecciones en 4 puntos del monte, se concluyó que 2 de ellos podían aprovechar el agua. Hasta la fecha, sin embargo, esta actuación no se ha llevado a cabo.

El cambio de uso del monte de Torrero que se había citado con antelación se acentúa con el paso de los años disminuyendo el marcado carácter forestal y aumentando su uso como lugar de esparcimiento y de ocio. Debido a ello, en 1998 el Ayuntamiento de Zaragoza contrata la realización de un Estudio de Ordenación del Monte de Torrero que es aprobado por la Comisión de Urbanismo en sesión de 15 de diciembre de 1998, con posterior resolución de la Dirección General del Medio Natural del Departamento de Agricultura y Medio Ambiente de la Diputación General de Aragón, con fecha 23 de julio de 1999. Este trabajo traza una serie de pautas, básicamente de tipo forestal, con vista a una gestión que permitiese mejorar su estado sanitario y vegetativo como método de perpetuar la masa. Además, también se apuntan algunas consideraciones relativas al uso de este espacio como zona de esparcimiento lúdico y deportivo.

En dicho proyecto y para conseguir los objetivos de protección física y biológica y de uso social del monte de Torrero, y de una manera subordinada la biodiversidad se procedió, tras la realización del inventario del monte, a su división en tres cuarteles A, B y C (que correspondían a la zona Oeste, central y Este respectivamente), que sirvió para localizar los diferentes tipos de gestión y determinar las actuaciones.

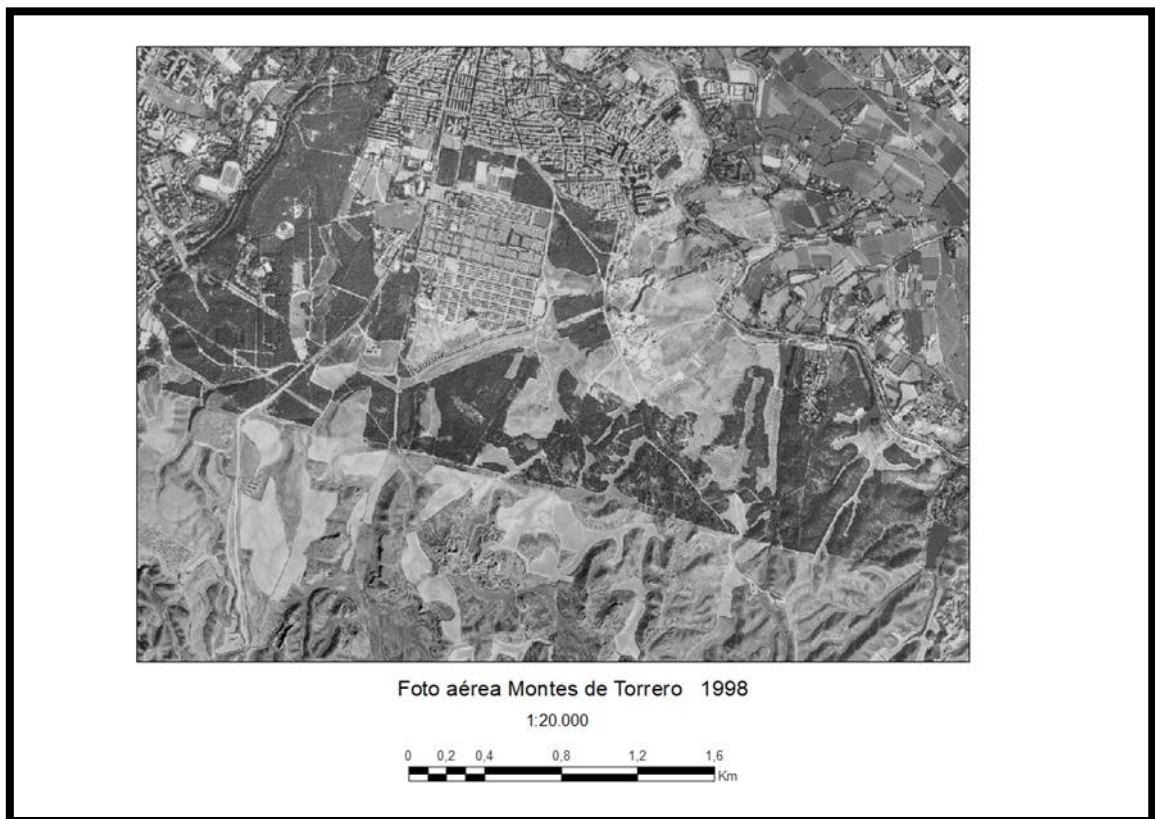


Figura 5. Fotografía aérea proporcionada por la unidad de conservación del medio natural de Zaragoza

Para planificar todas las actuaciones se realizó un plan general y un plan especial con las actuaciones a largo y a corto plazo respectivamente.

El plan especial estableció las actuaciones a realizar en un periodo de diez años (1998 - 2007), en las que se incluían operaciones de todo tipo aunque fundamentalmente eran tratamientos selvícolas para evitar la regresión de los árboles (claras, cortas de policía, podas) y de las masas (tratamientos fitosanitarios) y facilitar su regeneración, preferentemente de un modo natural (en las zonas arboladas), o si ésta no se consiguiera, por plantación (incluyendo también las zonas rasas).

A principios del nuevo siglo se tramitó el Plan General de Ordenación Urbana de Zaragoza actualmente vigente (aprobado en el año 2002) en el que el Pinar de Torrero pasó a considerarse como un área de borde del cinturón que presenta huecos sin plantar, aunque se mantuvo como parte del sistema general de espacios libres compatible con una accesibilidad limitada de vehículos, con usos públicos y privados de recreo, ocio y deporte.

Asimismo, este plan recogía la creación de los cinturones de ronda de la ciudad, que fueron ejecutados en los años siguientes.

Así en el año 2002 se puso en funcionamiento el Tercer Cinturón que fragmentaba el espacio deslindado en 1916 en dos zonas: una norte de carácter básicamente urbano y otra sur que mantenía la personalidad forestal, lo que produjo una fuerte alteración del paisaje tradicional del Monte de Torrero.

En el año 2004 entró en funcionamiento el Cuarto Cinturón: una vía rápida que obligaba a un cerramiento de seguridad a lo largo de su trazado y que generó una segunda fragmentación del Monte, dejando prácticamente aislada su zona este.

Atendiendo las características que trascienden de lo forestal por su condición de monte periurbano, y en desarrollo del Proyecto de ordenación del monte de Torrero de 1998, en el año 2005 el Ayuntamiento de Zaragoza redactó el proyecto de Gestión de Usos y Ordenación Paisajística del Monte de Torrero en el que se fijaban las actuaciones dirigidas a dotar al monte de Torrero de estructura e infraestructura adaptadas al nuevo uso, de forma que éste se hiciera de una forma dirigida y, por consiguiente, se paliara su efecto negativo sobre la masa forestal, mejorando al tiempo su calidad como espacio de uso social.

Las propuestas que se establecieron en dicho proyecto fueron las siguientes: tipología de espacios verdes (Parques urbanos, Zonas verdes de transición, Espacios forestales, Espacios agro-esteparios, Actuación especial del Cementerio, Parque Hortícola de Valdegurriana), aparcamientos y áreas recreativas, red de sendas, pasarelas, áreas deportivas, observatorios del paisaje, actuación especial del cementerio (El pinar, La zona húmeda, La “plaza central”, Las balsas de laminación, El “claro-oscuro”, Estudio hidrológico), actuaciones forestales (mantenimiento de masas, actuaciones propuestas por zonas) y actuaciones frente a riesgos naturales (riesgo por incendio, riesgo frente al viento, riesgo frente a la erosión).

La redacción de dicho proyecto de Gestión de Usos se vio enriquecida con un proceso de participación ciudadana. En este proceso, a través de talleres de análisis, valoración y priorización se llegó a una propuesta consensuada por la mayoría de los colectivos que participaron, plasmándose en el documento que, a partir de entonces, se convirtió en una herramienta de gestión, marcando el camino a seguir en las actuaciones futuras, de forma que se consiga la sinergia de iniciativas.

Con objeto de dotar de un mayor grado de definición y que pudieran ejecutarse las actuaciones previstas en el “Plan de Gestión de Usos y Ordenación Paisajística del Monte de Torrero”, se redactó un proyecto de obra definido para la 1ª Fase, que se corresponde con las actuaciones definidas en su apartado de denominación genérica de “Actuación Especial del Cementerio”, en la zona denominada “Barranco de la Muerte” y sus alrededores. En el mismo además de otras propuestas que se incluían en el proyecto inicial se añade la restauración de cinco escombreras en el entorno del barranco de la muerte.



Foto aérea Montes de Torrero 2006

1:20.000



Figura 6. Fotografía aérea proporcionada por la unidad de conservación del medio natural de Zaragoza

El Ayuntamiento de Zaragoza promovió en el año 2013 el proyecto LIFE Zaragoza natural cuyo objetivo general del proyecto era proteger, mejorar, valorar, conocer y dar a conocer la Infraestructura Verde de Zaragoza. La duración prevista de las acciones era desde el año 2013 al 2017 y se componía de diez acciones (B1 a B10).

La acción B7 “Mejora del estado ecológico de la matriz verde”, constaba de dos acciones subordinadas una relacionada con la protección de los montes de Peñaflor y la otra consistía en un plan de orientaciones forestales para el Monte de Torrero para permitir la regeneración del pulmón verde de Torrero mediante actuaciones y tratamientos demostrativos que mejorasen su biodiversidad.

En la primera fase de esta última acción subordinada se realizó un análisis pormenorizado del estado de la vegetación que puebla el monte Torrero, incluyendo la realización de un inventario forestal que nos permitiera evaluar la viabilidad del pinar de *Pinus halepensis*.

En la segunda fase se realizó un plan de acción forestal con objetivos a largo y corto plazo, incluyendo una propuesta de actuaciones destinadas a mejorar y asegurar la permanencia de la masa forestal que puebla el monte. En concreto se propuso como actuaciones selvícolas en el pinar de *Pinus halepensis* la realización de una serie de claras en determinados rodales (en los siguientes diez años y a partir de diez y veinte años) y por otra parte la reforestación de algunas zonas desarboladas. (Figuras 7,8 y 9).

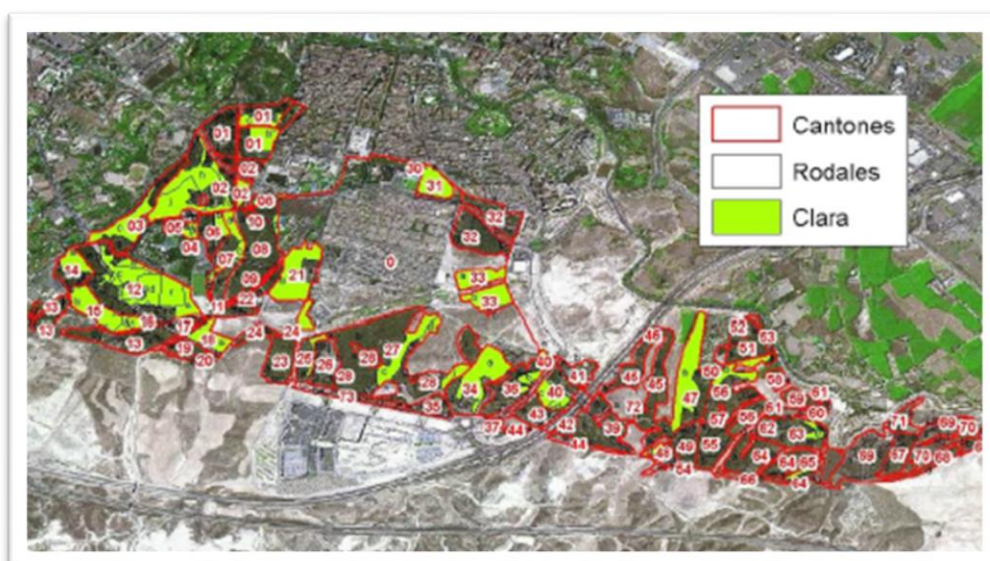


Figura 7. Rodales con necesidad de claras. Extraído de las propuestas de actuación del plan de actuaciones forestales del monte de torrero (LIFE12 acción B7)

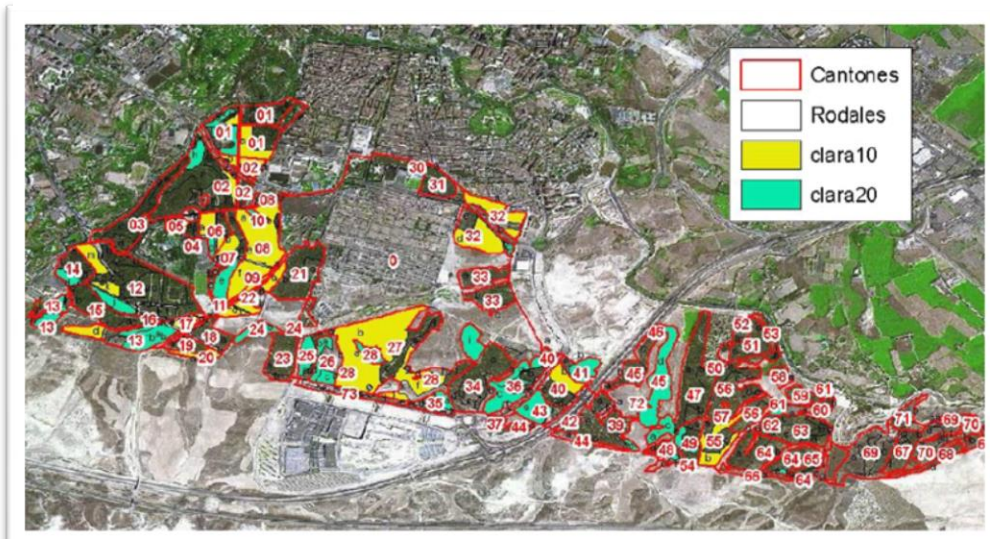


Figura 8. Rodales propuestos para realización de claras a partir de 10 y 20 años. Extraído de las propuestas de actuación del plan de actuaciones forestales del monte de torrero (LIFE12 acción B7)

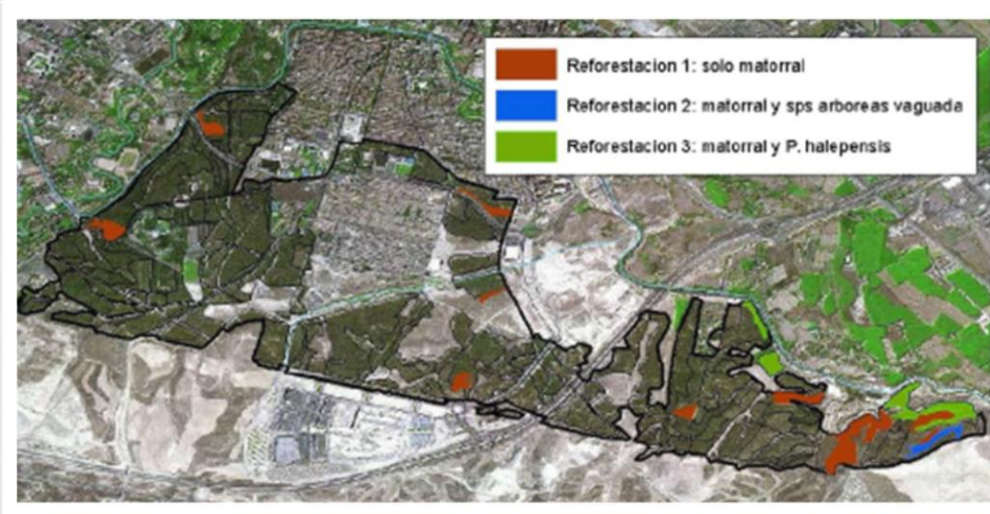


Figura 9. Zonas con posibilidades de reforestación. Extraído de las propuestas de actuación del plan de actuaciones forestales del monte de torrero (LIFE12 acción B7)

El monte se ha visto afectado por diversas plagas. Una de las más importantes ha sido desde siempre el ataque de la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa* L.). En cada época se han utilizado los métodos de lucha y control disponibles, pudiéndose afirmar que en la actualidad la plaga se encuentra bajo control y reducida a unos mínimos tolerables en el conjunto del monte.

En 1979 comenzó la proliferación de diversos coleópteros perforadores con la aparición con carácter de plaga del ya mencionado *Tomicus piniperda* que causó la muerte de numerosos pinos, y más tarde se sumaron otras dos plagas también de escolítidos (*Pityogenes calcaratus* y *Orthotomicus erosus*). La lucha contra estas tres plagas comenzó a mediados de la década de los noventa del pasado siglo y consiste básicamente en la corta y eliminación de los pies afectados y la colocación de árboles cebo en zonas estratégicas de la masa.

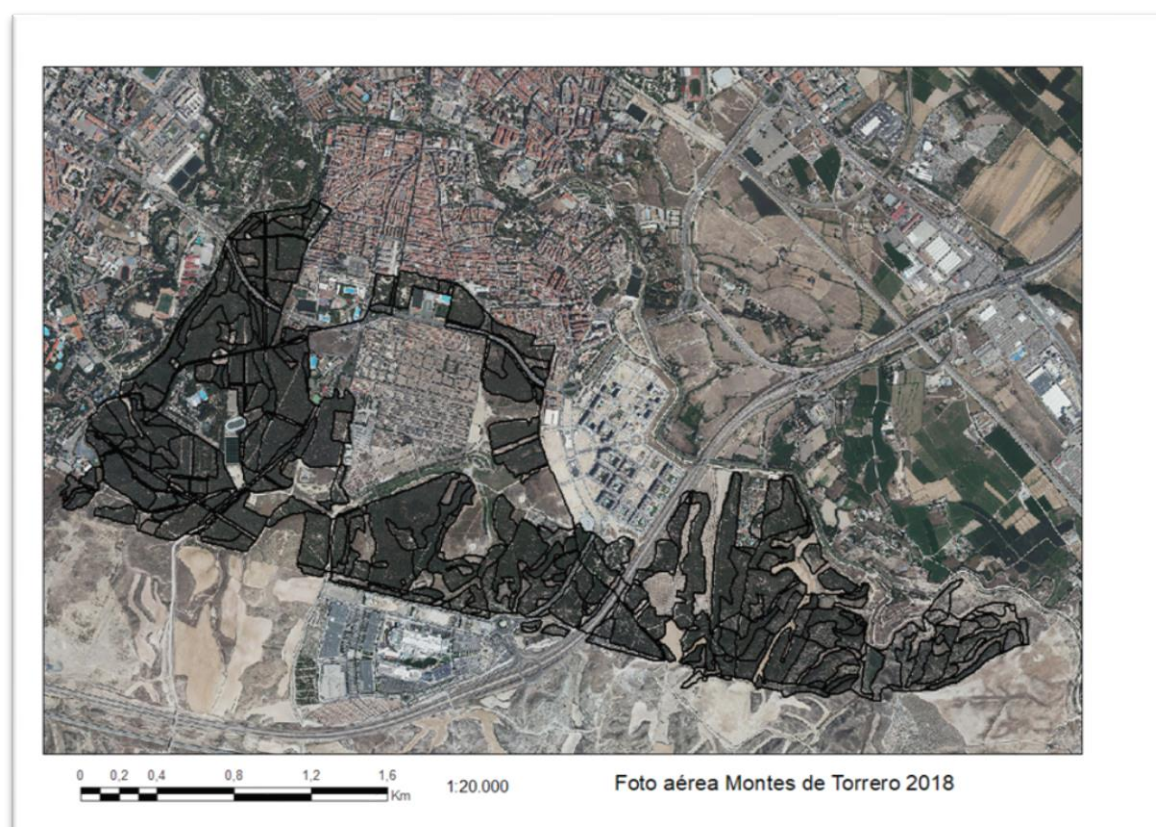


Figura 10. Fotografía aérea proporcionada por la unidad de conservación del medio natural de Zaragoza

2.- Objetivos

Los objetivos del TFM están en consonancia con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de Naciones Unidas, para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos.

Para alcanzar los ODS, uno de los aspectos fundamentales en los que hay que centrar los esfuerzos es en la conservación y estabilidad de las comunidades forestales ya que se está produciendo un decaimiento de las mismas debido a los efectos negativos que sufren producidos de un lado por el calentamiento global y de otro por actividades antrópicas como pueden ser la deforestación o los incendios provocados.

Particularizando dentro de los ecosistemas forestales, una gestión adecuada de los bosques urbanos y periurbanos es de vital importancia para la realización de una planificación, diseño y desarrollo de paisajes sostenibles y con capacidad de recuperación. De esta manera se puede lograr que las ciudades tengan un entorno agradable y respirable con una mayor seguridad, riqueza y diversidad.

En el marco de la gestión de los montes de Torrero, su finalidad básica sería el cumplimiento pleno y continuo de sus funciones de protección y uso social ya que el múltiple papel del monte no tendría sentido sin la referencia a la sociedad humana actual y futura, que es la que aprovecha los diferentes bienes y servicios generados por los sistemas forestales.

Es necesario por ello el mantenimiento de la masa de pinar en un estado saludable y la regeneración natural de la misma, mejorando al mismo tiempo el ocio y disfrute del monte por parte de la población. Se debe garantizar la regeneración de todas las especies forestales naturales presentes en estas masas, con la aplicación de métodos de ordenación flexibles que permitan generar y regenerar biodiversidad.

En relación con el principio de rentabilidad clásico, hay que tener en cuenta que la gestión forestal se subordina totalmente a la gestión paisajística y recreativa del monte de Torrero que se erige como objetivo principal de las gestiones y ordenación de este espacio forestal. Por otra parte, se tiene que tener muy en cuenta la necesidad de potenciar y cuidar la estabilidad de las masas forestales frente a agentes bióticos o abióticos: incendios, derribos por vendavales, ataques de plagas etc. Concretando, se tendrán que realizar actuaciones destinadas a mejorar y asegurar la permanencia de la masa forestal que puebla el monte y que dicha masa se desarrolle con el mayor vigor posible y con ello aumente su estabilidad y biodiversidad.

En este marco los objetivos de este trabajo son los siguientes:

- 1) Analizar las características de los montes de Torrero en relación a su composición específica/fisionómica, cobertura y características dasométricas.
- 2) Analizar la distribución espacio-temporal de los niveles de verdor en función de las características del arbolado de los montes de Torrero
- 3) Analizar la tendencia del índice de vegetación NDVI en el monte de Torrero en el periodo comprendido entre los años 2013 y 2020 y su relación con las condiciones climáticas interanuales.

El objetivo final es analizar la evolución y las características de las cubiertas-estructura del arbolado de los montes de Torrero utilizando los datos del inventario forestal de los montes de Torrero publicado en el documento “Memoria y resultados de la fase 1. Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 ENV/ES/000567” y un índice espectral de vegetación (como indicador el NDVI), con la finalidad de obtener conclusiones de cara a la aplicación identificación de medidas de gestión del monte de Torrero.

3.- Materiales y métodos

Para la realización de este trabajo se ha tomado como referencia inicial el inventario forestal de los montes de Torrero publicado en el documento “Memoria y resultados de la fase 1. Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 ENV/ES/000567”.

De ese inventario se han obtenido los datos correspondientes a las características dasométricas de las teselas en las que se ha dividido el área y a partir de ellas se ha efectuado la caracterización de los montes de Torrero.

Utilizando imágenes satelitales se han obtenido los datos relativos a los niveles de verdor y vigor de la vegetación existente en dichas teselas de los últimos años.

Se han obtenido los datos relativos al índice de sequía SPI de la zona de los montes de Torrero en el periodo 2013-2020 mediante la descarga en página web “monitordesequía”.

Finalmente, para analizar la influencia de las diferentes características en el grado de verdor de la vegetación y su tendencia en los últimos años se han aplicado diferentes test estadísticos de carácter tradicional.

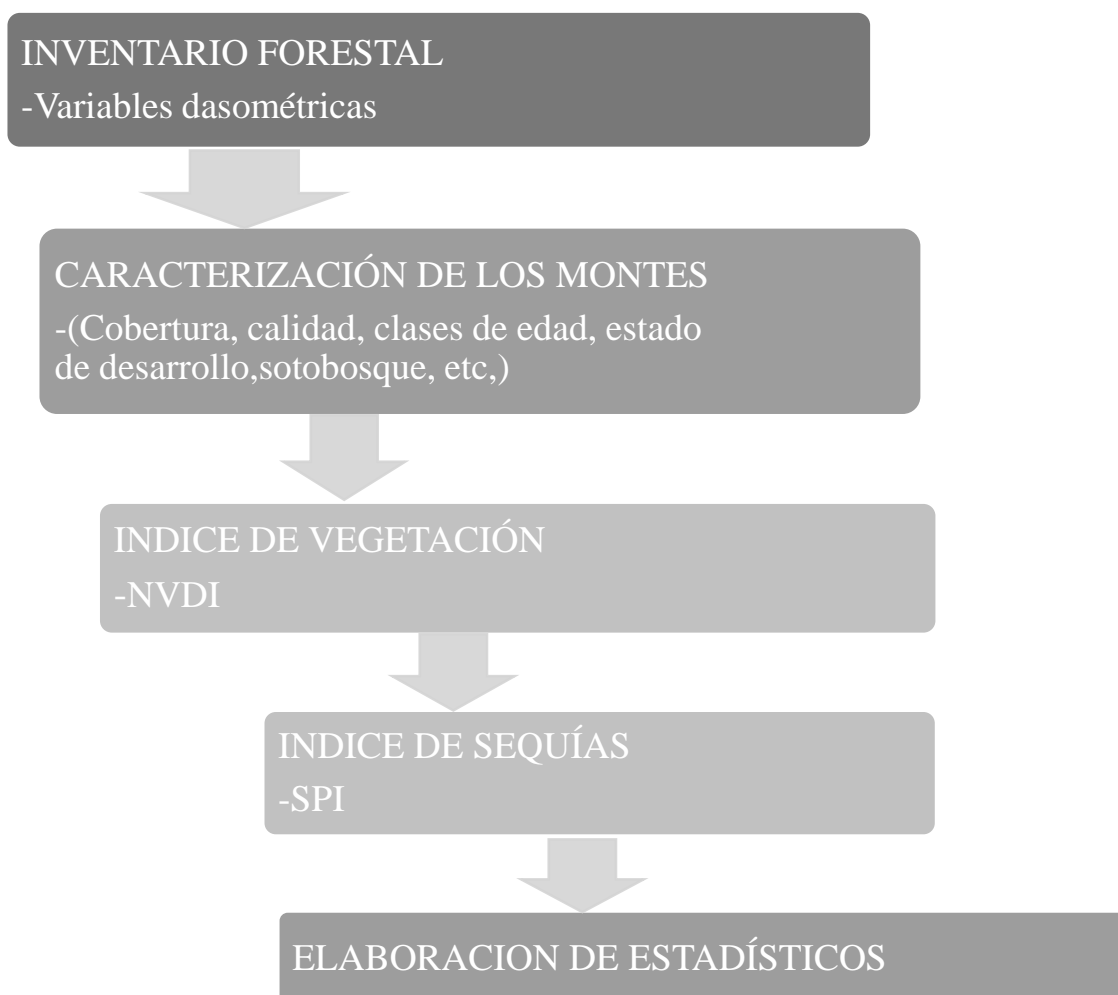


Figura 11. Diagrama del flujo de trabajo

3.1. Explicación del inventario forestal

En esta sección se detallan los materiales y métodos utilizados por el Ayuntamiento de Zaragoza para la realización del inventario forestal de los montes de Torrero, publicado en el documento “Memoria y resultados de la fase 1. Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 ENV/ES/000567”.

El inventario forestal del que se obtuvo gran parte de los datos fue realizado con tecnología LIDAR ya capturada dentro del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) utilizando para ello modelos ajustados para *Pinus halepensis* realizados por Agresta S. Coop.

La información LIDAR con la que se realizó el inventario fue capturada en el año 2010 y tiene una densidad de 0,5 ptos/m² (1 pulso LIDAR cada 2 m²). Dicha información está almacenada en archivos con formato “.LAS”, en bloques de 2x2 km, con alturas elipsoidales, en sistema geodésico de referencia ETRS89 y proyección UTM. Los archivos LAS en la actualidad no son reconocidos por los Sistemas de Información Geográfica más utilizados y necesitan del uso de software específico para su gestión.

Esta tecnología proporciona un volumen enorme de información de las superficies forestales y de la estructura del bosque. Cada uno de los retornos del láser lo podemos convertir en una altura de la vegetación sobre el suelo y el porcentaje de primeros retornos láser que no llegan al suelo son una medida muy exacta de la fracción de cabida cubierta de la vegetación.

Así, con un adecuado procesado de la nube de puntos LIDAR es posible estimar de forma casi directa variables forestales que son de gran utilidad para la planificación y gestión forestal, como la fracción de cabida cubierta arbórea (FCC), las alturas máximas de la vegetación y la altura dominante (H_o).

Mediante modelos estadísticos que relacionen la información LIDAR con información tomada en campo se pueden obtener también las principales variables dasométricas de inventario forestal como el número de pies (N), el área basimétrica (G), el volumen de madera de fuste (VCC), el incremento anual en volumen con corteza (IAVCC) y el diámetro cuadrático medio (Dg).

Inicialmente el monte se subdividió en teselas, que eran la unidad mínima de vegetación y gestión, y que iba a estar definida por el cantón al que pertenece y el tipo de masa que contiene. Para ello se utilizaron ortofotos de diferentes años y los resultados del inventario LIDAR.

El proceso realizado es el siguiente:

a) Toma de datos LIDAR

Se parte de los ficheros en formato LAS del vuelo LIDAR del PNOA. Estos son unos ficheros de nube de puntos que definen la superficie y el suelo (incluyendo vegetación y edificaciones), obtenido mediante sensores LIDAR con una densidad media de 0,5 ptos/m², lo que supone una densidad de un punto cada 2 m².

Entre las características más importantes de la información LIDAR del PNOA en la provincia de Zaragoza podemos citar:

- Sistema de Referencia Geodésico ETRS89.
- Proyección Cartográfica UTM huso correspondiente.
- Altura ortométrica (sobre el nivel del mar Alicante) procedente de altura elipsoidal (EGM08-REDNAP, 4-5cmRMS).
- Fecha de vuelo LIDAR: 2010.
- Ficheros formato .LAS son de la versión 1.1 formato 12.
- Los ficheros se encuentran clasificados automáticamente (Clase terreno editada) según los estándares del ASPRS.

- Los ficheros cubren hojas de 2x2 km, en los que la esquina superior izquierda es una coordenada entera par y cuyas 3 y 4 primeras cifras aparecen en el nombre del fichero.

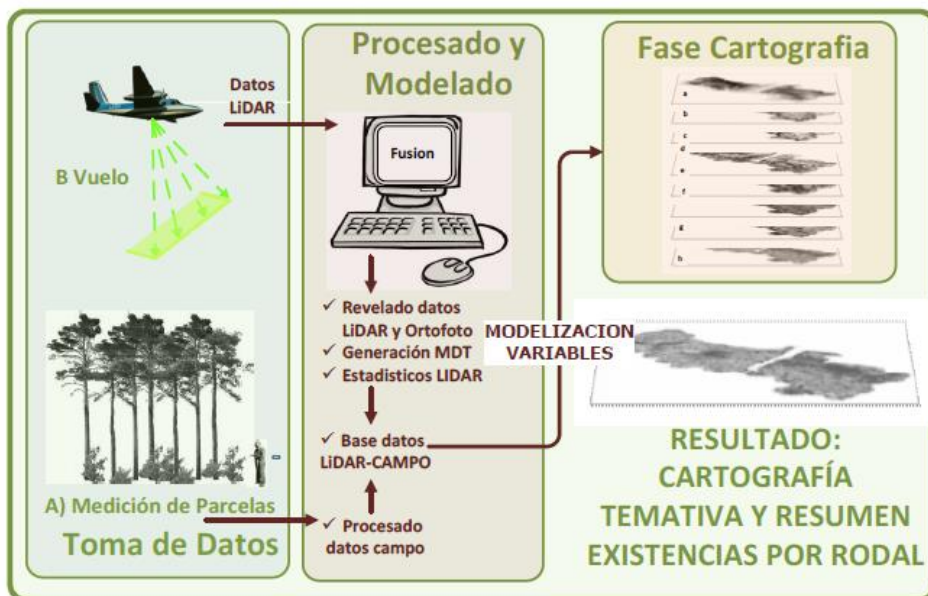


Figura 12. Flujo de trabajo LIDAR para proceso de datos. Fuente: Memoria y resultados de la fase 1. Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 ENV/ES/000567Naturales. Abril 2013.

b) Procesado de datos LIDAR

Según consta en la memoria técnica de la documentación del inventario, para realizar el procesamiento de la información LIDAR se usó el software Fusion, (manejado a través de una interfaz desarrollada por Agresta S. Coop. - <https://agresta.org/->) que permite el tratamiento de los archivos tipo LAS para la generación de estadísticos de estructura de la vegetación a partir de ellos.

Primeramente se generaron los Modelos Digitales del Elevaciones (MDE) a partir de los archivos LAS clasificados con un paso de malla de 2 m.

A continuación a cada retorno laser clasificado de vegetación se le extrajeron la altura del terreno para obtener alturas sobre el suelo.

Por último se generaron capas en formato raster y vectorial georeferenciadas con todos los estadísticos LIDAR del arbolado en celdas de 25 metros de lado que permitieron su análisis espacial. Con ello se obtuvo para cada celda toda una batería de estadísticos de vegetación, alturas e intensidades de los que extrajeron la información referente a altura dominante de la masa.

c) Estimación de existencias en toda la zona de trabajo.

Se utilizaron los modelos de regresión para *Pinus halepensis* calculados y ajustados por Agresta S. Coop en base a los datos obtenidos de parcelas de campo en la Comunidad de Valencia.

Con estos datos de campo, se han ajustado modelos de regresión multivariable que permiten estimar las principales variables de inventario forestal para *Pinus halepensis* trasladadas al año 2014, a partir de los estadísticos de estructura de vegetación calculados con la nube de puntos LIDAR.

Estos modelos se aplicaron a toda la superficie del monte Torrero generando una cartografía de celdas de tamaño 25x25 m, equivalente a la superficie de las parcelas de campo y que se corresponden con las celdas de procesamiento de la información LIDAR. De esta forma se

pudo obtener una cartografía digital continua para toda el área de estudio en la que se recogen los valores por hectárea de todas las variables dasocráticas para cada una de las celdas.

De esta manera en la capa “estadísticos LIDAR” se reflejan los valores medios por hectárea para cada celda de las siguientes variables:

- Volumen con corteza (Vcc). Es el volumen de madera de fuste.
- Área basimétrica (G). $G = \sum g \text{ (m}^2\text{) /superficie (ha)}$, siendo g la sección de cada árbol a la altura del pecho (1,3 m) $g = (\pi/4) d^2$ (d= diámetro del tronco del árbol a la altura del pecho).
- Incremento anual de volumen con corteza.(IAVcc)
- Diámetro cuadrático medio (Dg). $Dg = \sqrt{4 * (G/N * \pi)}$. Sería el diámetro equivalente al árbol de área basimétrica media de una tesela.
- Número de pies (N), calculado a partir del Dg y el área basimétrica. $N = 4 * G * (Dg)^2 / \pi$.
- Altura dominante (Ho). Es la altura media de los árboles dominantes de un rodal o masa forestal; en la práctica se obtiene generalmente a partir de un número predeterminado de troncos entre los más altos o los más gruesos.
- Fracción de cabida cubierta (Fcc). Es la porción de terreno ocupado por la proyección de las copas de los árboles, se expresa habitualmente en porcentaje. Se obtendría calculando el porcentaje de primeros retornos por encima de la altura de corte definida.

3.2. Métodos empleados en la caracterización de los montes de Torrero.

En este apartado se reflejan los métodos que se emplearon para establecer las diferentes categorías en las que se podían clasificar las teselas de los montes de Torrero dentro de cada tipo de caracterización y que también han sido extraídas del documento “Memoria y resultados de la fase 1. Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 ENV/ES/000567”.

Para realizarlo se partió de la caracterización de cada una de las teselas que se habían identificado sobre la ortofoto y teniendo en cuenta la cobertura y la posición orográfica de las masas se realizó la caracterización del pinar contando además con los datos obtenidos en el inventario LIDAR.

3.2.1. Edad.

El método para obtener la edad de cada rodal fue la realización de un muestreo de edades de la masa en base a canutillos extraídos con barrena Pressler y conteo de anillos. Además, para apoyar el trabajo de campo se emplearon fotografías aéreas tomadas en diferentes años desde 1956 hasta la actualidad. Por último se realizó la comparación de las edades definidas para cada rodal con las edades obtenidas en la ordenación del monte.

Ambas fuentes de información se combinaron, para obtener unos rangos de edad de cada tesela de 10 años aplicando después a cada tesela la edad media del rango. Las seis categorías de edades del pinar que se establecieron son: 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70 y 70-80 años.

3.2.2. Calidad de estación

Para realizar clasificación de calidades de estación de *Pinus halepensis* se han utilizado las curvas de calidad de referencia para *Pinus halepensis* desarrolladas a partir del modelo de crecimiento desarrollado por Erviti (1991) y de los datos empleados por Gómez Loranca et al (1997) procedentes de 72 parcelas permanentes repartidas por el área de distribución del *Pinus halepensis* en la Península Ibérica.

El modelo de crecimiento de Erviti responde a la siguiente ecuación:

$$H_0 = a \cdot (1 - e^{-bt})^{1/c} + \sigma$$

Los valores de los parámetros son, $b=0.1637086$, $c=1.041644$, $\sigma=0.0233$. Siendo H_o = Altura dominante en decámetros, t = Edades en décadas y a , b , c , y σ parámetros del modelo.

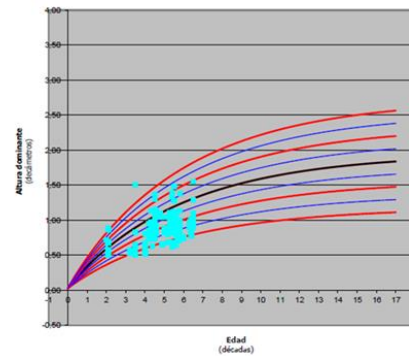


Figura 13 Altura dominante de cada tesela y límites de calidad según curvas de calidad de estación para *Pinus halepensis* Mill. e idoneidades fitoclimáticas. (Gómez Loranca et al 1997)

Se determina en el modelo el coeficiente "a" para que el haz de curvas que se forma dentro de los ejes H_o -Edad, pase por los puntos 14, 12, 10, 8, y 6 m a la edad de referencia de 40 años, de manera que "a" representa el parámetro local de cada calidad y toma los valores siguientes: $a_{14}= 2,70239$, $a_{12}= 2,3163$, $a_{10}= 1,930$, $a_8= 1,5442$, $a_6= 1,1582$.

Conociendo la altura dominante (H_o) de cada tesela y la edad resulta la distribución que figura en la tabla 4.

Calidad	Centro de la clase (H_o 40 años)	H_o a los 40 años (m)
I	14	mayor de 13
II	12	entre 11 y 13
III	10	entre 9 y 11
IV	8	entre 7 y 9
V	6	menor de 7

Tabla 4. Clasificación de calidades de la estación. Fuente: Memoria y resultados. Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 ENV/ES/000567Naturales. Abril 2013.

Los puntos azules son los pares de valores edad-altura dominante de cada tesela, y las curvas se refieren a los límites de calidad, siendo las líneas rojas los valores medios y las azules los límites entre calidades. (Figura 13).

De esta manera obtenemos las cinco categorías de calidades (I, II, III, IV y V)

3.2.3. Cobertura

La cobertura del pinar es un indicador de la densidad de la masa. En base a la ortofotografía aérea y fracción de cabida cubierta obtenida del vuelo LIDAR se ha clasificado la masa de los distintos pinares en cuatro categorías de cobertura, pinar ralo, abierto, denso y denso con huecos para cada tipo de pinar.

Los valores aproximados de fracción de cabida cubierta para cada tipo son los siguientes:

- pinar ralo < 15 %
- 15 % < pinar abierto < 35%
- 35 % < pinar denso con huecos < 50 %
- pinar denso > 50 %

3.2.4. Posición orográfica

Mediante el modelo digital del terreno podemos obtener el mapa de pendientes y con él se pueden determinar las zonas de llano o ladera en función de que la pendiente sea mayor o menor del 10%.

Las zonas de vaguada lo mismo que las de ribera no están relacionadas con la pendiente. Puede haber fondos de valle llanos o laderas que terminan formando vaguada.

3.2.5. Estado de desarrollo de la masa

El estado de desarrollo de masa de cada tesela se asigna de acuerdo con el diámetro cuadrático medio y teniendo en cuenta el tipo de masa asignado en el campo.

En el campo se había establecido una clasificación del tipo de masa de acuerdo al diámetro medio de los pies, pero con los datos de diámetro medio cuadrático proporcionados por el inventario LIDAR se establecieron los siguientes niveles de estado de desarrollo:

- Latizal bajo (LB): $Dg < 15,5$ cm.
- Latizal bajo y latizal alto mezclados (LBxLA): $15,5 \text{ cm} < Dg < 17,5 \text{ cm}$
- Latizal alto (LA): $22 \text{ cm} < Dg < 24 \text{ cm}$
- Latizal alto y fustal joven mezclados (LxFJ): $24 \text{ cm} < Dg < 26 \text{ cm}$
- Fustal joven (FJ): $24 \text{ cm} < Dg < 26 \text{ cm}$.
- Fustal adulto (FA): $Dg > 26 \text{ cm}$

3.2.6. Sotobosque

Se han definido las cinco categorías de sotobosque siendo asignadas mediante observación.

3.2.7. Potencial de regeneración

Para conocer el potencial de regeneración de los montes de Torrero se tomaron los siguientes datos en cada tesela:

- Presencia de diseminado (pies de 1 a 3 años con altura inferior a 0,5 m), regenerado (pies de 3 a 6 años y alturas entre 0,5 y 2 m).
- Abundancia de piñas en la copa y en el suelo

3.3.- Información espectral utilizada

3.3.1. Imágenes Landsat 8

La cobertura vegetal fue uno de los primeros aspectos en los que se centró la investigación para evaluar y manejar los recursos naturales, utilizando imágenes de satélite, fundamentalmente a partir del año 1972 con el lanzamiento de la serie LANDSAT. Los sistemas satelitales de observación de la Tierra (LANDSAT, SPOT, NOAA...), ofrecen imágenes multitemporales que son usadas ampliamente, para evaluar y monitorear el estado de la vegetación, en los niveles global, regional, nacional y local.

Esto lo conseguimos categorizando y agrupando la información del satélite entregada a través de una imagen multibanda, para después discriminar un área con características particulares de otra. Una manera de expresar esta categorización o agrupamiento es mediante la elaboración de índices de vegetación.

Para este trabajo los datos del índice de vegetación (NDVI) han sido obtenidos a partir de la descarga de imágenes Landsat 8 desde 2013 hasta 2020.

Estas imágenes son adquiridas a través del sensor Operational Land Imager, conocido como OLI.

La resolución radiométrica de estas imágenes es de 16 bits y están formadas por 10 bandas espectrales y un pancromático cuyas resoluciones espaciales se encuentran en 15, 30 y 100 m (Tabla 5).

Las imágenes del Landsat 8 se encuentran actualmente vigentes para su descarga a una resolución temporal de 16 días. Por tanto, se dispone de una nueva imagen satélite actualizada para la misma zona de trabajo cada dos semanas aproximadamente. Sin embargo, la misión Landsat ofrece diferentes imágenes satelitales acotadas a momentos temporales y bajo resoluciones de pixel diferente. Desde la misión Landsat 1, hasta la actual Landsat 8, existe un repertorio histórico de lo más variado. En función de la franja temporal de análisis, se dispone de las siguientes misiones Landsat:

- Landsat 1: Julio 1972-Enero 1978.
- Landsat 2: Enero 1975-Febrero 1982.
- Landsat 3: Marzo 1978-Marzo 1983.
- Landsat 4: Julio 1982-Diciembre 1993.
- Landsat 5: Enero 1984-Enero 2013.
- Landsat 7: Enero 1999-Actualidad.
- Landsat 8: Abril 2013-Actualidad.

	LANDSAT 8	
	LONGITUD DE ONDA (μm)	RESOLUCIÓN ESPACIAL (m)
BANDA 1 – AEROSOL COSTERO	0,43-0,45	30
BANDA 2-AZUL	0,45-0,51	30
BANDA 3-VERDE	0,53-0,59	30
BANDA 4-ROJO	0,63-0,67	30
BANDA 5 –INFRAROJO CERCANO (NIR)	0,85-0,88	30
BANDA 6 –INFRAROJO ONDA CORTA (SWIR)1	1,57-1,65	30
BANDA 7 –INFRAROJO ONDA CORTA (SWIR)2	2,11-2,29	30
BANDA 8-PANCROMATICO	0,50-0,68	15
BANDA 9- CIRRUS	1,36-1,38	30
BANDA 10- INFRAROJO TERMICO TIR 1	10,60-11,19	100
BANDA 11- INFRAROJO TERMICO TIR 2	11,50-12,51	100

Tabla 5. Bandas utilizadas por Landsat 8. Fuente: Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (Ariza, 2013)

3.3.2. Índices de vegetación: el índice de diferencia normalizada de vegetación (NDVI)

Al hablar de índices nos referimos a un conjunto de operaciones algebraicas efectuadas sobre los valores numéricos de los píxeles, usando dos o más bandas pertenecientes a la misma escena (Muñoz Aguayo, 2013)

Podemos definir el índice de vegetación como un parámetro calculado a partir de los valores de reflectividad que pretende extraer la información relacionada con la vegetación, minimizando la influencia de perturbaciones como las debidas al suelo y a las condiciones atmosféricas” (Gilabert et al., 1997). Según (Jackson et al. 1983), los índices de vegetación ideales deben ser sensibles a la cubierta vegetal e insensibles al brillo, al color del suelo, a la perturbación atmosférica y a la geometría de iluminación observación.

El desarrollo de los Índices de Vegetación se apoya en la existencia de una serie de isolíneas de vegetación comprendidos en un plano de reflectividad definido por los canales del

IR cercano y del rojo (Figura 14) La existencia de altos contrastes entre las reflectividades de estas dos bandas corresponde a zonas de alto vigor vegetal mientras que bajos contrastes son indicativos de zonas de escasa actividad vegetal debido a la escasez de cubierta o a que está en un estado senescente. Como consecuencia de ello, generalmente, valores bajos de los índices de vegetación indican vegetación poco vigorosa, mientras que los valores altos, indican vegetación muy vigorosa.

El índice utilizado en este trabajo es el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), acrónimo del inglés *Normalized Difference Vegetation Index*. Este índice fue propuesto por Rouse et al. en el año 1974 y es el índice de vegetación que más se utiliza en todo tipo de aplicaciones debido a su sencillez de cálculo, y disponer de un rango de variación fijo (entre -1 y +1), lo que permite establecer umbrales y comparar imágenes, etc¹. Da lugar a isolíneas de vegetación de pendiente creciente y convergente en el origen (Sánchez et al., 2000). Valores muy bajos de NDVI, del orden de 0.1, corresponden a áreas rocosas, arenosas o nevadas; valores de 0.2 a 0.3 pueden corresponder a áreas pobres con arbustos o pasturas naturales; a partir de estos valores tendremos los niveles correspondientes a praderas, cultivos, forestaciones etc. dependiendo del valor alcanzado.

Este índice facilita la interpretación directa de los parámetros biofísicos de la vegetación y además permite la comparación entre datos obtenidos por diferentes investigadores. Sin embargo, tiene el inconveniente de ser sensible a la reflectividad del suelo sobre el que se sitúa la planta, lo que limita su potencial de discriminación. El NDVI permite identificar la presencia de vegetación verde en la superficie y caracterizar su distribución espacial, así como, la evolución de su estado a lo largo del tiempo. Esto está determinado fundamentalmente por las condiciones climáticas. La interpretación del índice debe, asimismo, considerar los ciclos fenológicos y de desarrollo anual, para distinguir oscilaciones naturales de la vegetación con los cambios en la distribución temporal y espacial, causados por otros factores.

El NDVI posee un gran valor en términos ecológicos, ya que es un buen estimador de la fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la vegetación (fPAR) (Monteith, 1981), la productividad primaria (Paruelo et al., 1997; Tucker et al., 1985) y una variable integradora del funcionamiento del ecosistema (Wall y Virginia, 2000).

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada se calcula mediante la siguiente expresión: $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$. La obtención de los valores de NDVI se ha realizado mediante la extracción de los datos de reflectividad (TOA) de orto-imágenes (UTM/WGS84) del producto 'LANDSAT/LC08/C01/T1_ANNUAL_GREENEST_TOA' correspondientes a la serie temporal 2013-2020, Este es un producto que utiliza todas las escenas Landsat posibles durante un año e identifica la fecha que presenta el valor más alto de NDVI, proporcionando las reflectancia en las diferentes bandas. A partir de los valores seleccionados se ha calculado el NDVI, para analizar las superficies con vegetación de los Montes de Torrero. La extracción de valores se ha realizado utilizando un script específico en la plataforma *Google Earth Engine*.

¹ Ray Terrill W. (1994) de la División de Ciencias Geológicas y Planetarias del California Institute of Technology, opina lo siguiente:

“Casi todos los que hacen mucha teledetección en vegetación usan NDVI, y a menudo es mejor atenerse a lo que la gente conoce y confía. NDVI es simple, cuenta con el mejor rango dinámico de cualquiera de los índices y tiene la mejor sensibilidad a los cambios en la cubierta vegetal. Es moderadamente sensible a un segundo plano de suelo y a la atmósfera, excepto en la baja cubierta o densidad vegetacional. Para hacer una vista rápida y cualitativa de la cubierta vegetal en una imagen, no se puede superar NDVI, a menos que usted está buscando en un área con baja densidad vegetal”.



Figura 14 Gráfica Reflectancia IR-R línea de suelo Fuente Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación. Centro de Información de Recursos Naturales. (Muñoz Aguayo, 2013)

3.4.- El índice estandarizado de sequía (SPI *Standardized precipitation index*)

Para estudiar las razones de las variaciones anuales de los niveles del índice NDVI en el periodo analizado, se ha decidido comparar dichos niveles con los valores del índice estandarizado de sequía (SPI).

Este índice fue desarrollado por McKee et al (1993) para conseguir una adecuada identificación de los períodos anormalmente secos y húmedos. En él se utilizan solamente valores mensuales de precipitación y además permite un seguimiento de las sequías a distintas escalas temporales y la delimitación de su inicio y final.

Ha quedado demostrado que entre 18 índices de sequía analizados es el que mejor estima la severidad, duración y extensión superficial de las sequías (Keyantashet et al, 2002).

La fuente de información básica utilizada para obtener el SPI debe ser una serie homogénea de precipitaciones mensuales de al menos 30 años, y continua, es decir, sin lagunas de información.

Para calcularlo, se puede trabajar sobre series acumuladas de precipitación, de entre 1 y 72 meses, aunque estadísticamente la franja de aplicación más práctica es entre 1 y 24 meses, utilizándose las escalas temporales de 1,3,6,12 y 24 meses. El cálculo del SPI para cualquier localidad se basa en el registro de precipitación a largo plazo para el período deseado. Dicho registro a largo plazo se ajusta a una distribución de probabilidades, y a continuación esta se transforma en una distribución normal de modo que el SPI medio para la localidad y el período deseado sea cero (Edwards y McKee, 1997).

El valor índice que se obtiene muestra las condiciones de sequía teniendo en cuenta las lluvias en el intervalo temporal seleccionado. Los valores positivos de SPI indican precipitaciones superiores al valor de la mediana, y los valores negativos indican precipitaciones inferiores al valor de la mediana. La sequía, según el SPI, empieza cuando el valor del SPI es igual o inferior a -1,0 y concluye cuando el valor se convierte en positivo

Las ventajas que presenta el SPI en relación con otros índices de sequía es que mide la severidad de las sequías de acuerdo a su intensidad y duración. Además, permite comparar la severidad de las sequías a lo largo del tiempo y el espacio e identificar el principio y fin de los periodos secos.

En cuanto a los inconvenientes podemos decir que es un índice únicamente pluviométrico, que no tiene en cuenta variables que a priori pueden tener influencia sobre las sequías, como la ETP (evotranspiración potencial) o la capacidad de retención de agua del suelo. Además y, tal vez sea su principal limitación, es que no sirve para identificar áreas con un comportamiento excesivamente húmedo o seco.

En este trabajo se han valorado también los datos del índice de precipitación y evaporación (*Standardized precipitation and evaporation index* SPEI) que es un índice de sequías que tiene en cuenta también la evaporación.

La base de datos la hemos descargado de la página web “monitor de sequía meteorológica” del Consejo Superior de Investigaciones científicas (CSIC) <https://monitordesequia.csic.es/monitor/?lang=es#index=spei#months=1#week=3#month=8#year=2021>. Sus autores son: Fergus Reig, Fernando Domínguez, Sergio M. Vicente-Serrano, Santiago Beguería, Borja Latorre, Yolanda Luna y Ana Morata. Esta página aporta información en tiempo real a partir de las estaciones meteorológicas automáticas de la Red de AEMET y del SIAR. La información se actualiza cuatro veces cada mes y se puede consultar el estado de la sequía meteorológica a partir de dos índices climáticos: el SPI y el SPEI. Se aporta la información de los índices a diferentes escalas temporales (1, 3, 6, 9, 12 y 24), aspecto que permite identificar la anomalía climática considerando periodos previos más o menos largos y que informan de la posible severidad de diferentes tipos de sequía meteorológica. Además de ello, se muestra la duración de la sequía meteorológica desde el inicio de la misma (considerando un umbral de condiciones secas) y su magnitud acumulada. El monitor permite la visualización del histórico desde 1961 y la selección de un punto concreto, del que se puede visualizar y descargar la serie del índice de sequía meteorológica.

Los datos tenidos en cuenta inicialmente han sido los del SPI y el SPEI en las escalas temporales (1, 6, 12 y 24) y finalmente se ha elegido para la comparación el SPI 24 que era el que tenía mayor correlación con el índice NDVI en el periodo analizado.

Un SPI de 24 meses es una comparación de la precipitación de 24 meses consecutivos con la registrada en los mismos 24 meses consecutivos de todos los años precedentes para los que se dispone de datos.

3.5.-Análisis estadísticos:

3.5.1.-Análisis de la varianza

Para comprobar la influencia sobre el vigor vegetal de cada uno de los diferentes tipos de caracterización establecidos del monte de Torrero y estudiar las diferencias entre ellos se ha realizado el análisis de varianza (ANOVA) o análisis factorial y el Test de Bonferroni. Estos test constituyen instrumentos básicos para el estudio del efecto de uno o más elementos sobre la media de una variable continua (en nuestro caso el índice de vegetación NDVI).

Su funcionamiento consiste en calcular la media de cada uno de los grupos y comparar la varianza de estas medias (varianza explicada por la variable grupo, intervarianza) frente a la varianza promedio dentro de los grupos (la no explicada por la variable grupo, intravarianza). Bajo la hipótesis nula de que las observaciones de los distintos grupos tienen la misma media y varianza, la varianza ponderada entre grupos será la misma que la varianza promedio dentro de los grupos. Conforme las medias de los grupos estén más alejadas las unas de las otras, la varianza entre medias se incrementará y dejará de ser igual a la varianza promedio dentro de los grupos (Amat, 2016).

Para la comprobación de la hipótesis se calcula el estadístico F y para ello se calculan los siguientes parámetros:

- Media de cuadrados del modelo es la suma de cuadrados del modelo partido por el grado de libertad del modelo.
- Media de cuadrados del error es la suma de cuadrados del error partido por el grado de libertad del error.

Finalmente obtenemos el estadístico F dividiendo la media de cuadrados del modelo por la media de cuadrados del error.

Si las medias poblacionales son iguales, las medias muestrales de los diferentes grupos serán parecidas y el cociente F tomará un valor próximo a 1. Sin embargo cuanto más diferentes sean las medias muestrales mayor será el valor de F.

Si el nivel crítico asociado al estadístico F (probabilidad de obtener el citado valor) es menor que 0,05 se rechazará la hipótesis y se concluirá que las medias poblacionales comparadas no son iguales.

3.5.2.-Coeficiente de correlación lineal de Pearson

Para estudiar la relación existente entre el nivel de vigor de la vegetación con el valor de las diferentes variables dasométricas se ha utilizado el coeficiente de correlación lineal de Pearson.

El coeficiente de correlación lineal es una medida numérica que permite medir el grado de asociación lineal entre dos variables cuantitativas.

Dadas dos variables cuantitativas x e y , el coeficiente de correlación (r) es igual a la covarianza de (xy) dividido entre el producto de la desviación típica de (y) y la desviación típica de (x). Los valores que puede tener este coeficiente (r) están comprendidos entre 1 y -1.

Habrà una correlación positiva perfecta si $r = 1$ (relación directa), una correlación negativa perfecta si $r = -1$ (relación inversa) y si $r = 0$, no hay una relación lineal.

3.6.- Software utilizado

Los productos cartográficos se han realizado mediante ArcMap 10.7.1.

Para realizar los diferentes estudios estadísticos que vienen reflejados en apartado resultados del trabajo se ha utilizado el software propietario xlstat, que funciona como una extensión del software Microsoft Excel. Addinsoft (2021). XLSTAT statistical and data analysis solution. New York, USA. <https://www.xlstat.com>

4.- Resultados y discusión.

En los apartados siguientes primeramente se realiza un pequeño análisis del inventario forestal y de la caracterización de los montes de Torrero y, a continuación, se expresan los resultados obtenidos de los análisis estadísticos realizados, sobre los aspectos siguientes:

- Comparación de los niveles de verdor que refleja el índice de vegetación NDVI, en relación con los diferentes tipos de caracterización relativos a la masa forestal de los montes de Torrero.
- Análisis en el que se establece la relación existente entre el mencionado índice de vegetación y las distintas variables dasométricas que se han calculado en el inventario forestal.
- Estudio de la evolución del índice de vegetación NDVI en el periodo 2013-2020 analizando las posibles causas que han ocasionado esas diferencias.

4.1. Análisis del inventario forestal.

En este apartado se realiza un pequeño análisis del inventario forestal publicado en el documento “Memoria y resultados de la fase 1. Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 ENV/ES/000567”.

Los valores medios por hectárea para cada celda de las variables dasométricas señaladas se reflejan en los mapas que se encuentran en el anexo 1.

Los datos del inventario están referidos a las teselas como unidad mínima. A cada una de estas teselas de pinar se le asignaron sus existencias maderables, calculadas como el promedio de existencias en valores por hectárea de las celdas de 25x25 metros contenidas en dicha tesela.

En los mapas que figuran a continuación se reflejan los valores por hectárea promedio de cada tesela procedentes de las celdas de 25x25 metros de las variables: Volumen con corteza (Vcc), área basimétrica (G), incremento anual de volumen con corteza (IAVcc), diámetro cuadrático (Dg) y número de pies (Npies). Además, en las variables de altura dominante Ho y de la fracción de cabida cubierta (Fcc), a cada tesela se le han adjudicado los valores promedio.

Para poder realizar la interpretación de los mapas en los que se reflejan las variables dasométricas (Figuras 15 a 21), se ha incluido el mapa de tipo de superficie (Figura 22) con objeto de ser conscientes de toda la superficie que no está ocupada por pinares, prestando especial atención al área de construcciones que comprende el cementerio de Torrero y el parque de atracciones.

Para facilitar la explicación de los valores de estas variables se ha dividido el área de los pinares en siete zonas (Figura 23):

- (NW). Situada al noroeste y limitada al sur por la Z-30.
- (W). Situada al este y limitada al norte por la Z-30 y al sur por la carretera del parque de atracciones.
- (SW). Situada al suroeste. Limitada al norte por el parque de atracciones y al este con el camino de tiro de bola.
- (C) Limita al oeste con el parque de atracciones, al este con el camino de tiro de bola y al norte con la carretera del parque de atracciones.
- (SC). Situada en el centro-sur de los montes de Torrero. Limita al oeste con el camino de tiro de bola y al este con el cementerio.
- (S). Situada al sur. Limita al norte con el cementerio de Torrero y al sur con Puerto Venecia.
- (E). Limita al oeste con la Z-40 y al este con Valdegurriana.
- (V). Situada al este.

Como norma general se puede observar que los valores de las variables siguen el siguiente patrón de comportamiento: Valores más altos en la zona NW, valores altos en las zonas W, SW y C valores medio altos en la zona SC, valores medios en la zona S, valores bajos en la zona E y valores muy bajos en la zona V.

En la variable “número de pies por hectárea”, sin embargo, los valores más altos se producen en las zonas W, SW, C y SC habiendo valores altos en las zonas NW, S y E. En la zona de Valgurriana (V) se mantienen valores bajos.

En la variable de fracción de cabida también se puede observar valores más altos en las zonas W y SW que en la NW. El resto se mueven de acuerdo al patrón general.

Las parcelas de pinares situadas al NE del cementerio que no están incluidas en ninguna zona tienen en general unos valores altos.

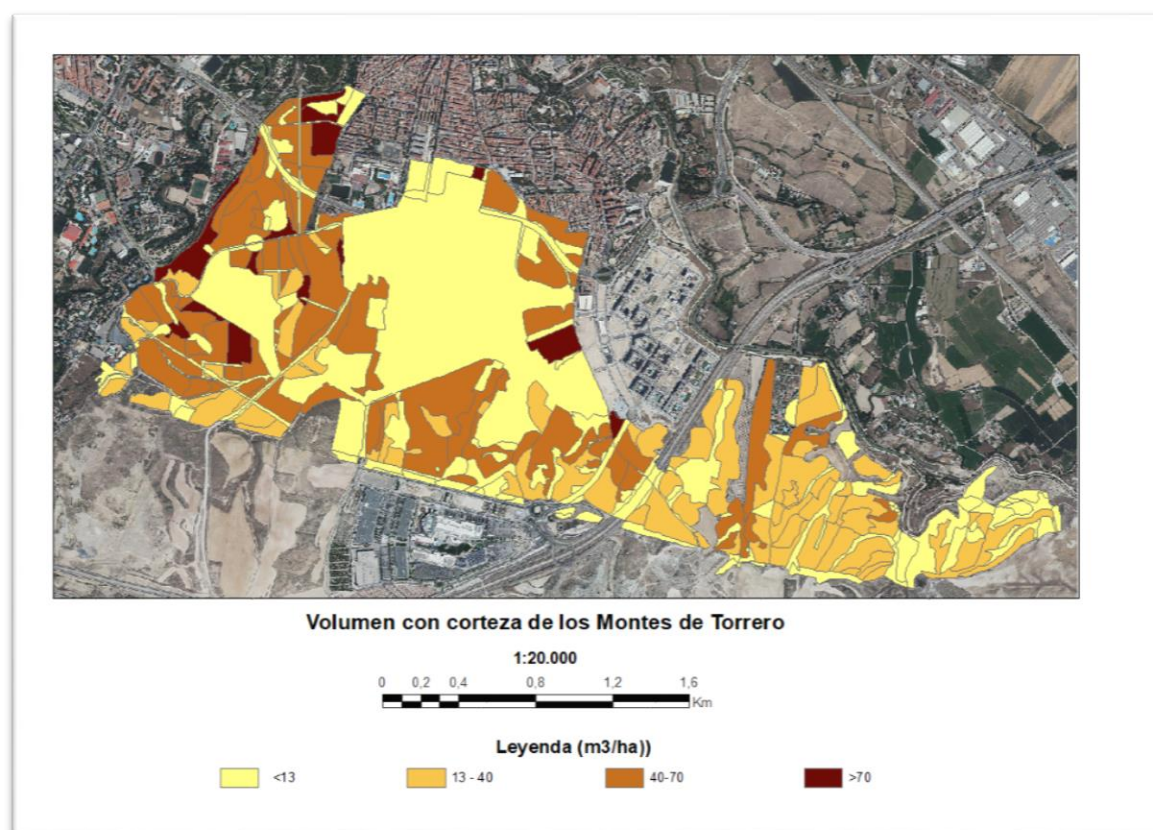
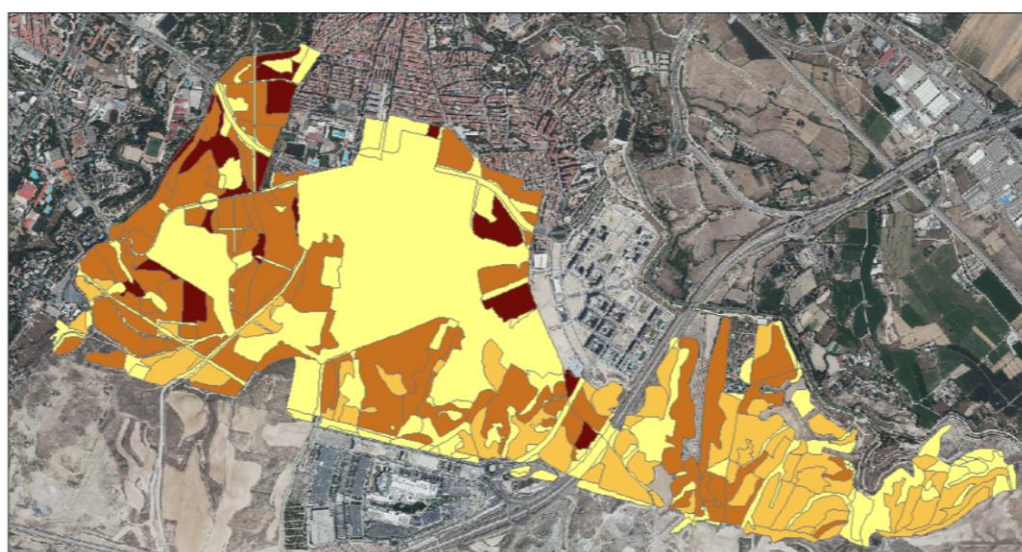


Figura 15. Mapa de VCC de los montes de Torrero. Elaboración propia. Fuente: Memoria y resultados de la fase 1. Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. "carto_veg-torrero"



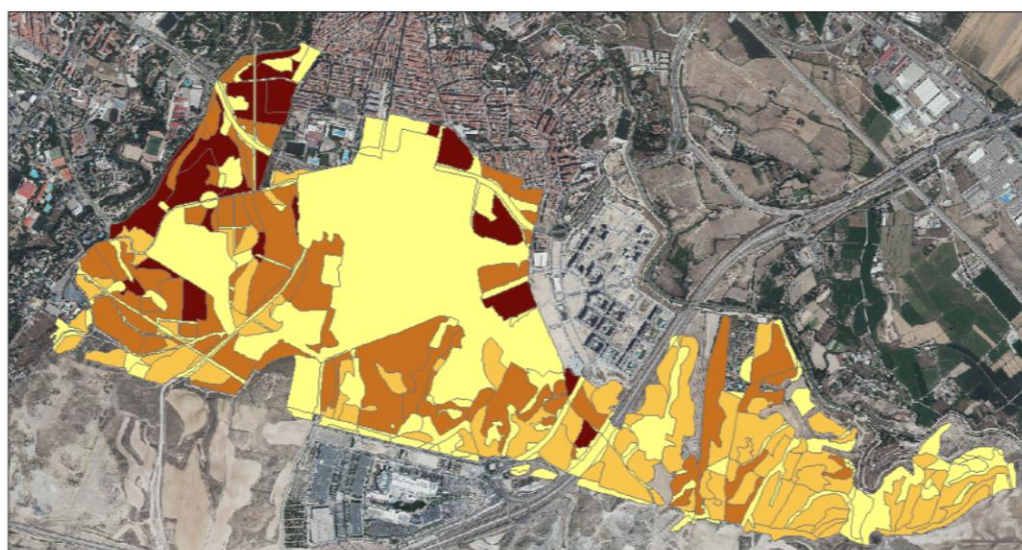
Área basimétrica de los Montes de Torrero

1:20.000
0 0.2 0.4 0.8 1.2 1.6 Km

Leyenda (m2/ha))

<4 04 - 11 11-17 >17

Figura 16. Mapa de G de los montes de Torrero. Elaboración propia .Fuente: Memoria y resultados de la fase 1.Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "carto_veg-torrero"



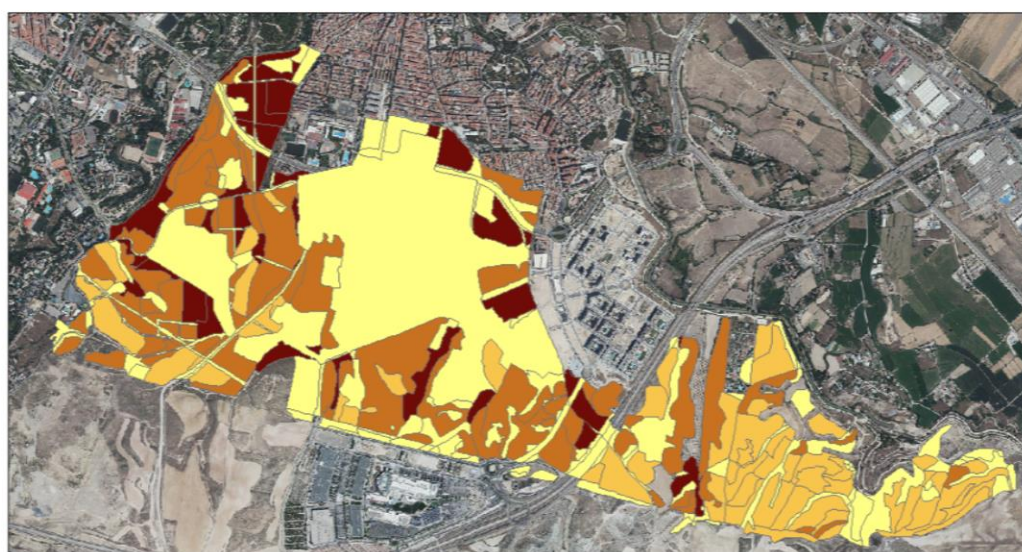
Incremento anual de volumen con corteza de los Montes de Torrero

1:20.000
0 0.2 0.4 0.8 1.2 1.6 Km

Leyenda (m3/ha))

<0.5 0.5 - 2 2- 3 >3

Figura 17. Mapa de IAVcc de los montes de Torrero. Elaboración propia .Fuente: Memoria y resultados de la fase 1.Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "carto_veg-torrero"



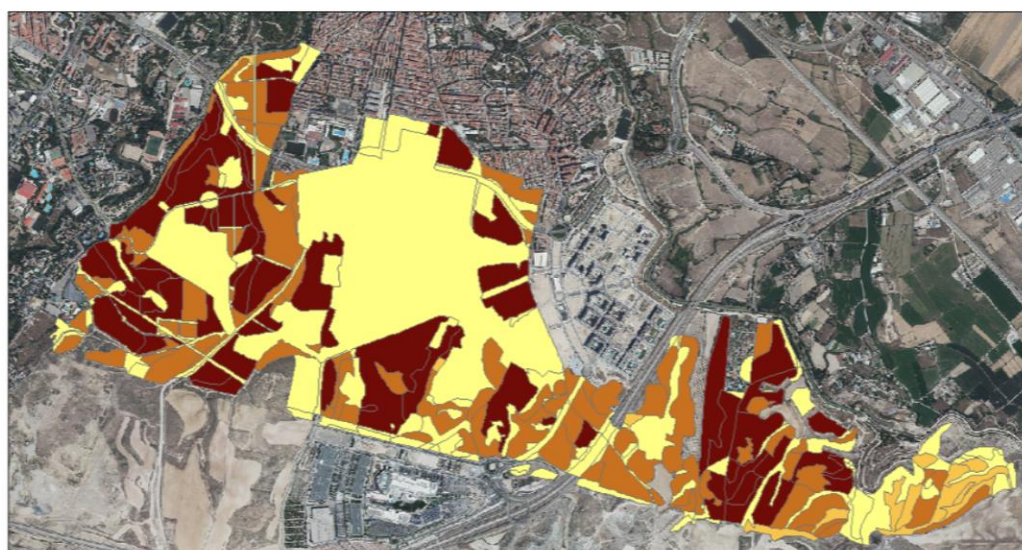
Diámetro cuadrático de los Montes de Torrero

1:20.000
0 0,2 0,4 0,8 1,2 1,6 Km

Leyenda (cm)



Figura 18. Mapa de Dg de los montes de Torrero. Elaboración propia .Fuente: Memoria y resultados de la fase 1.Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "carto vea-torrero"



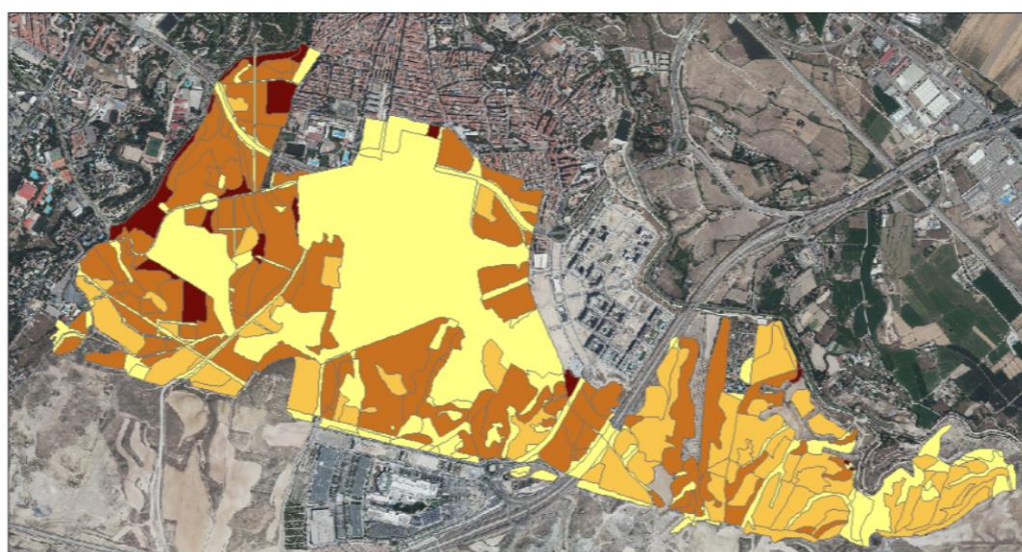
Número de pies por hectárea de los Montes de Torrero

1:20.000
0 0,2 0,4 0,8 1,2 1,6 Km

Leyenda (Npies/ha)



Figura 19. Mapa de Np de los montes de Torrero. Elaboración propia .Fuente: Memoria y resultados de la fase 1.Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "carto vea-torrero"



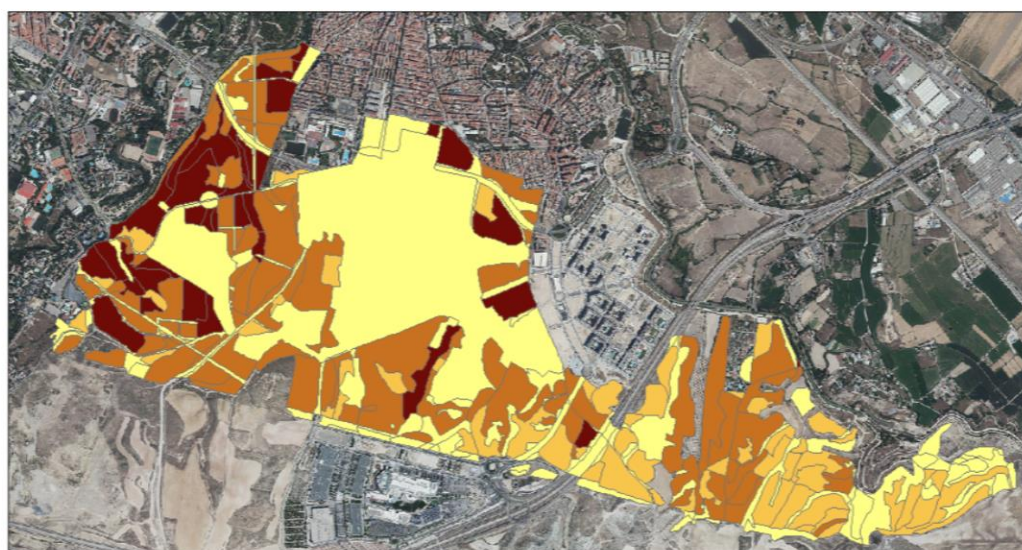
Altura dominante de los Montes de Torrero

1:20.000
0 0.2 0.4 0.8 1.2 1.6 Km

Leyenda (m)

<3 3 - 8 8 - 12 >12

Figura 20. Mapa de Ho de los montes de Torrero. Elaboración propia .Fuente: Memoria y resultados de la fase 1.Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "carto_veg-torrero"



Fracción de cabida cubierta de los Montes de Torrero

1:20.000
0 0.2 0.4 0.8 1.2 1.6 Km

Leyenda %

<18 18 - 44 44 - 60 >60

Figura 21. Mapa de FCC de los montes de Torrero. Elaboración propia .Fuente: Memoria y resultados de la fase 1.Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "carto_veq-torrero"

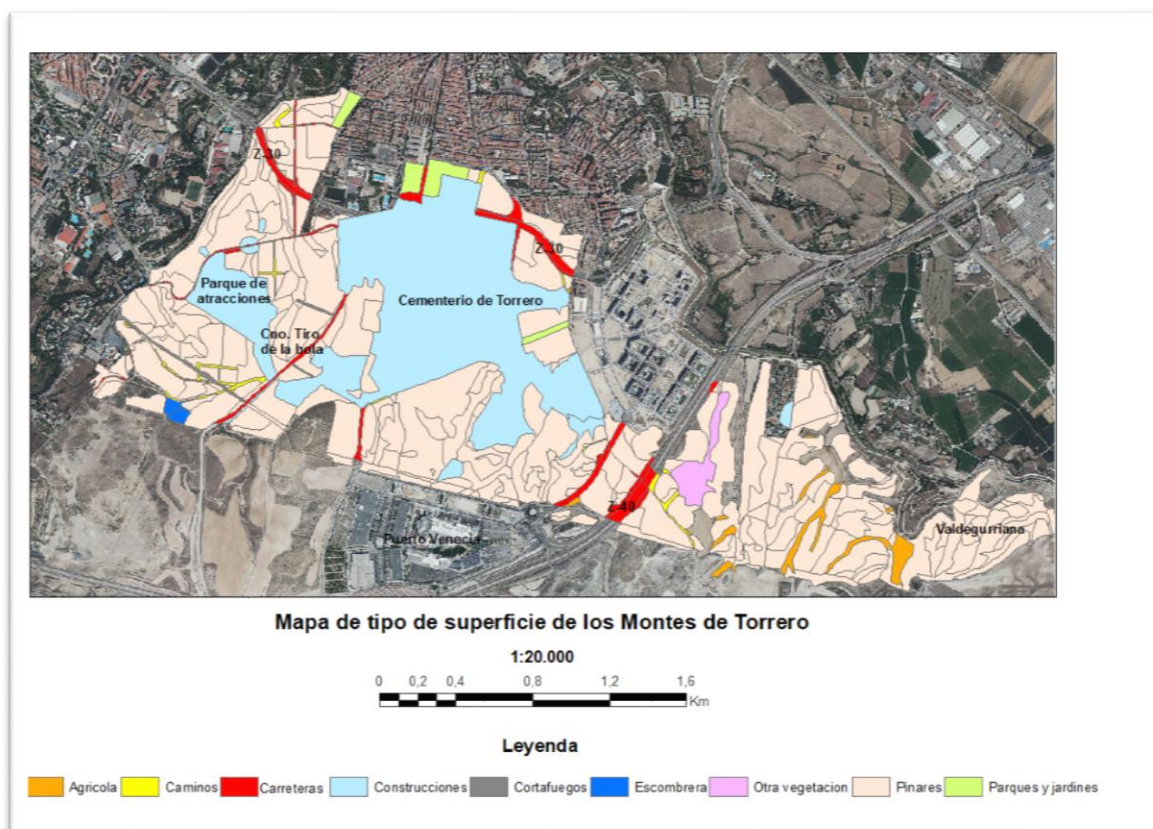


Figura 22. Mapa de tipo de superficie de los montes de Torrero. Elaboración propia .Fuente: Memoria y resultados de la fase 1.Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "carto_veg-torrero"

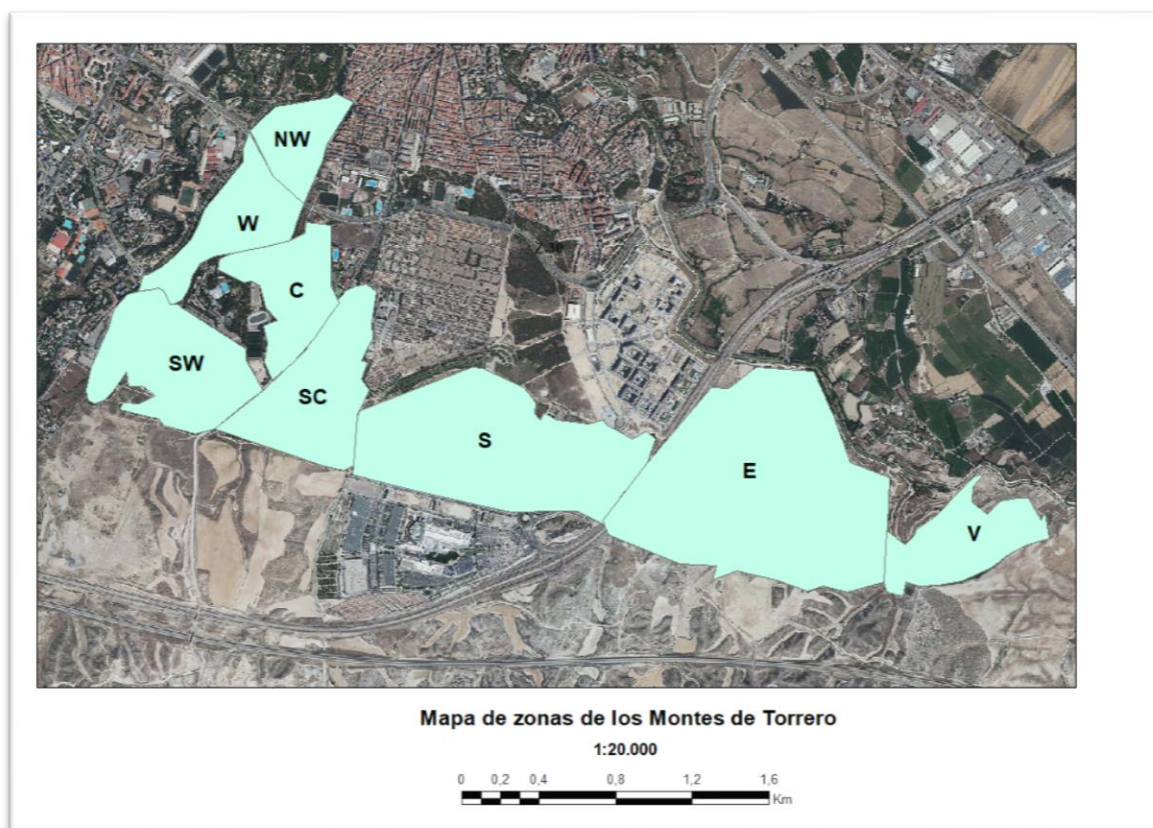


Figura 23. Mapa de zonas establecidas de los montes de Torrero. Elaboración propia .Fuente: Memoria y resultados de la fase 1.Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "carto_veg-torrero"

4.2. Análisis de la caracterización de los montes de Torrero

En este apartado se realiza un pequeño análisis de la caracterización de los montes de Torrero publicada en el documento “Memoria y resultados de la fase 1. Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 ENV/ES/000567.

4.2.1. Clases de edad.

Se puede observar en el mapa de la figura 24 como los pinares de más edad (entre 60 y 80 años) se sitúan en las zonas NW, W y C. En la zona SC hay parcelas de distintas clases de edad que van desde los 30 a los 70 años. Las zonas SW, S y E tienen unas franjas de edad más concentrada comprendida entre los 40 y 60 años. Finalmente, la zona más joven es la de Valdegurriana con pinares de 20 a 50 años.

4.2.2. Calidad de estación

Se recuerda que solamente se refleja la calidad de la estación de parcelas de *Pinus halepensis*.

Se observa en la figura 25 que la mayor parte de los pinares tienen un nivel de calidad de la estación baja (IV y V), y que, en general, va disminuyendo la calidad de oeste a este. Existen algunas parcelas de nivel de calidad III distribuidas por todas las zonas excepto en Valdegurriana. Las de mayor calidad (I y II), son muy escasas y de pequeña superficie y se sitúan en las zonas NW, C y S.

4.2.3. Cobertura

La mayor parte de la superficie de los montes de Torrero (75%) está ocupada por pinares de *Pinus halepensis* (Figura 26). La mayoría de estos son de cobertura densa, aunque existen también algunas parcelas densas con huecos distribuidos por casi todas las zonas del monte. Los únicos pinares de este tipo de cobertura abierta o rala se concentran, casi en su totalidad, en la zona de Valdegurriana. Los pinares de *Pinus pinea* ocupan un 8% de la superficie y, en una gran parte, son de cobertura densa (zonas NW, W y S). Existe también alguna parcela abierta rodeando al cementerio y alguna parcela rala en la zona E próxima a Valdegurriana. En cuanto al pinar de *Pinus canariensis*, se encuentra en la zona SW y ocupa alrededor de un 2% del total de la superficie, siendo todo él de cobertura densa. El área de cobertura rasa abarca un 15% y se encuentra en su mayor parte en la zona de Valdegurriana.

4.2.4. Posición orográfica

La mayor parte de la superficie de los montes (80%) está calificada en la categoría “llano” o “ladera”. Las parcelas de “vaguada” ocupan un 16%, mientras que las de “ribera” son muy escasas y se concentran casi todas en las zonas SW y W. (Figura 27)

4.2.5. Estado de desarrollo de la masa.

La inmensa mayoría de la superficie de los montes está ocupada con un arbolado con un estado de desarrollo de la masa de las categorías “latizal alto”, “latizal bajo” y “latizal alto y bajo mezclados”, siendo la primera categoría la más abundante con bastante diferencia. (Figura 28). Existen algunas parcelas de “fustal adulto” y “fustal joven” que se encuentran en la zona NW, y otras de “fustal joven y latizal alto mezclados” en esta misma zona y en parcelas colindantes al límite este del cementerio. Por último, existen algunas parcelas de “monte bravo” y de “monte bravo y latizal bajo mezclados” en la zona S. El “monte bravo” es una etapa de desarrollo de un rodal en que los ejemplares alcanzan una altura entre 1 y 3 metros y sus ramas llegan hasta la base y se entrecruzan formando una masa impenetrable.

4.2.6. Sotobosque

El sotobosque de los montes de Torrero es bastante escaso y en una gran parte de su superficie está compuesto de “lecho forestal con matorral y pasto diverso”. (Figura 29).

Los pinares con cobertura densa con huecos favorecen el pasto mientras que los pinares abiertos y más jóvenes tienen más presencia de matorral.

Las especies de matorral más comunes en estos suelos calizos son la aliaga (*Genista scorpius*) o el romero (*Rosmarinus officinalis*) y diferentes especies de tomillo (*Tymus sp.*).

El pasto tiene un aspecto estepario con escasa cobertura del suelo, aunque en las zonas más húmedas dicha cobertura aumenta.

4.2.7. Potencial de regeneración

En cuanto a la presencia de regeneración natural en el monte (Figura 30), se observa que esta es muy escasa y con escasa viabilidad, ya que existe alguna presencia de diseminado (19%) pero no de regenerado (2%), lo que quiere decir que las pocas semillas que germinan no consiguen pasar de estado de desarrollo. La presencia de regenerado y diseminado conjuntamente es también muy escasa y se encuentra en una zona de matorral.

En cuanto a la presencia de piña fértil (Figura 31), en copa sólo se constata en una superficie del 28%; en torno al 67% de la superficie del monte muestra una escasa presencia y sólo en un 5% de la superficie se identifica presencia en copa y suelo.

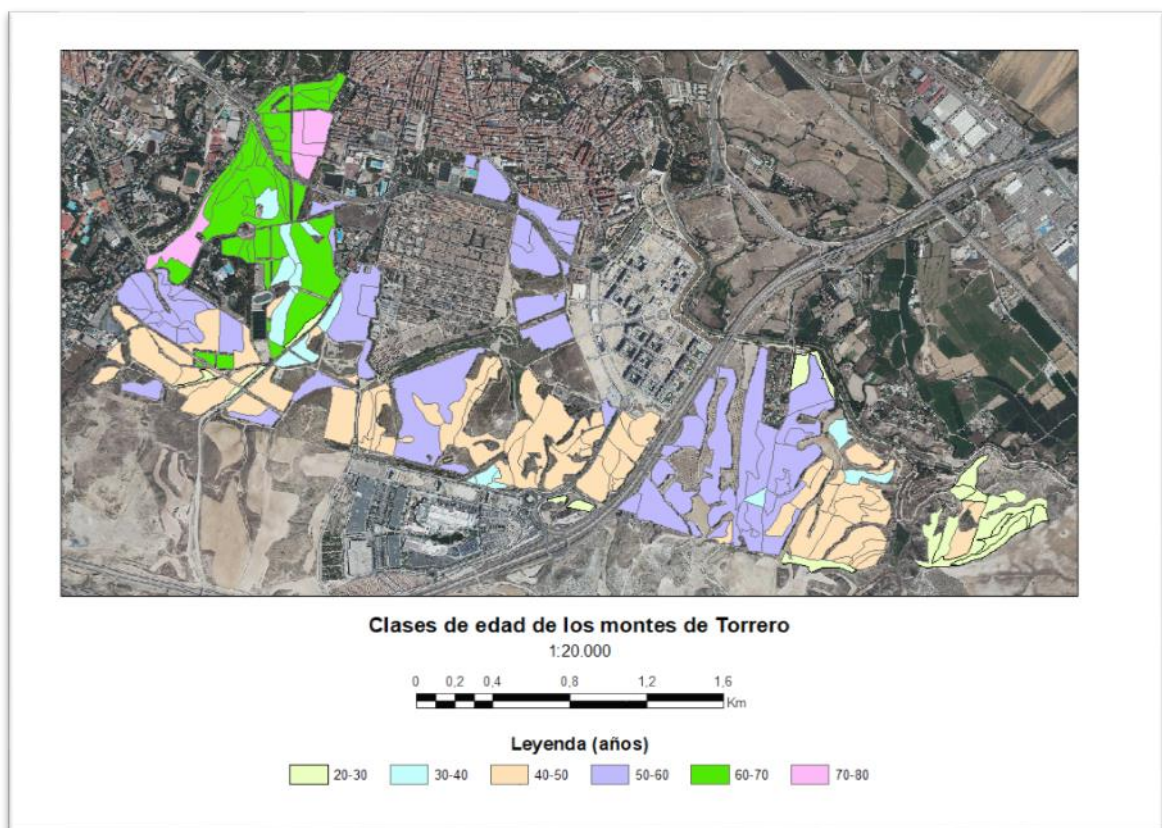


Figura 24. Mapa de clases de edad de los montes de Torrero. Elaboración propia. Fuente: Memoria y resultados de la fase 1. Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "carto-veq-torrero"

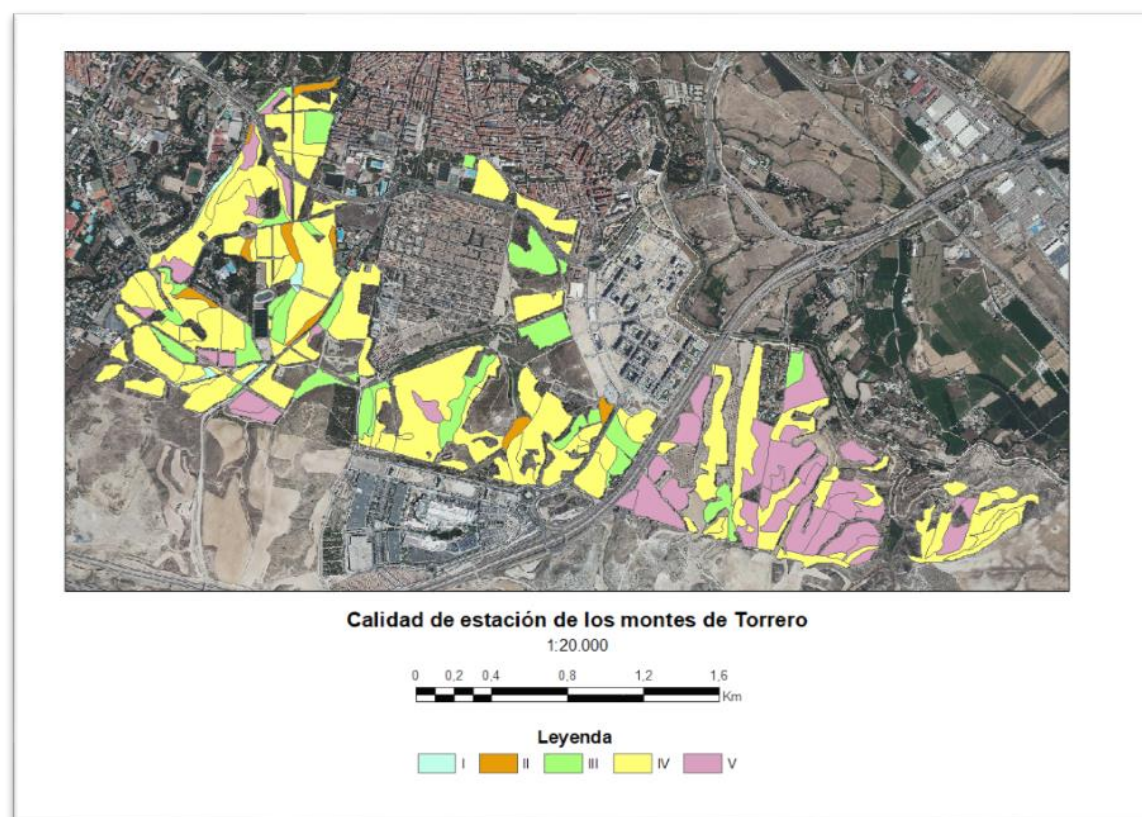


Figura 25. Mapa de calidad de la estación de los montes de Torrero. Elaboración propia .Fuente: Memoria y resultados de la fase 1.Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "carto-veg-torrero"

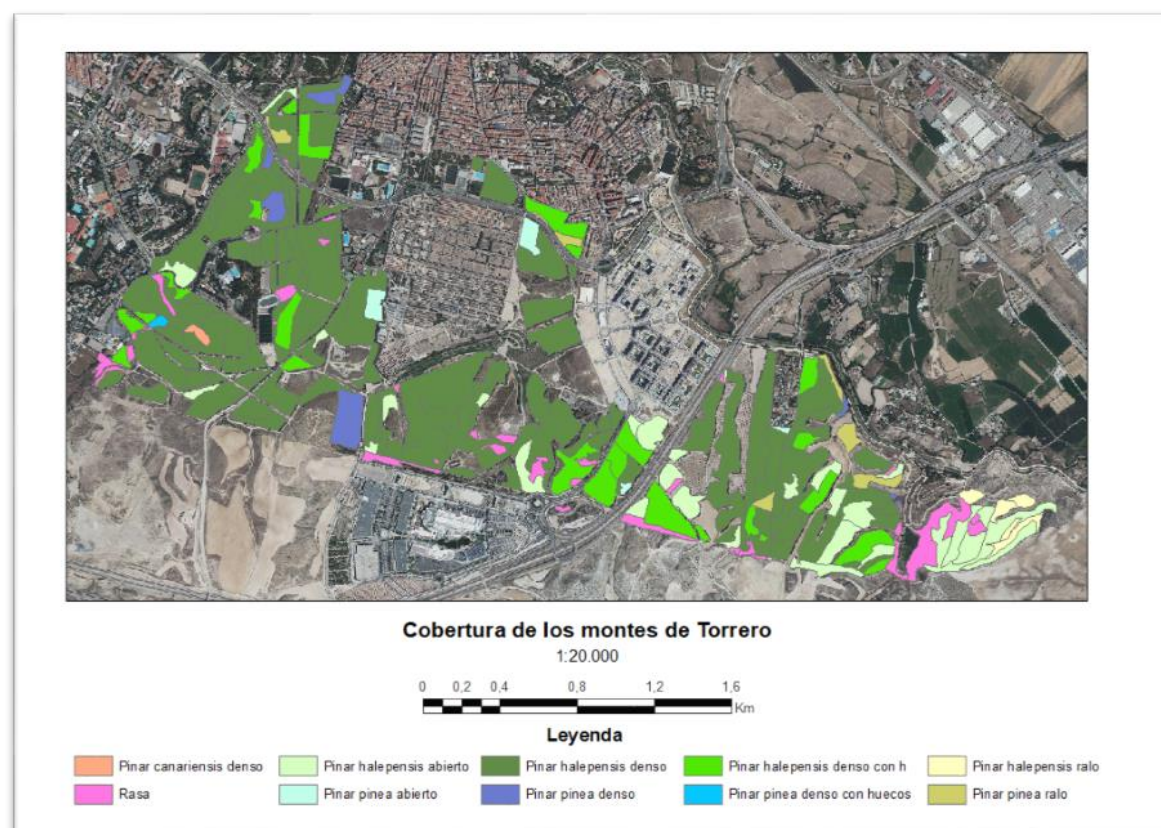
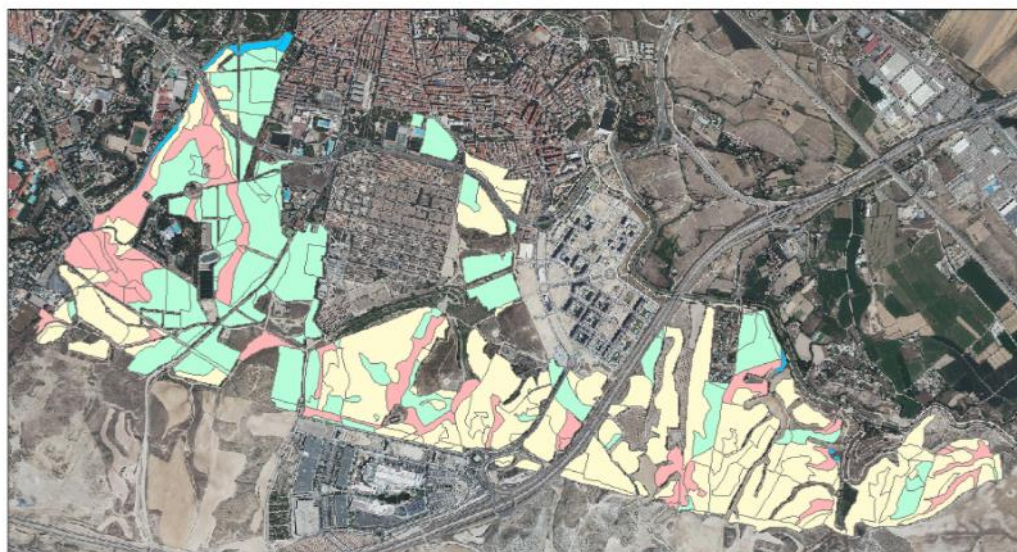


Figura 26. Mapa de cobertura de los montes de Torrero. Elaboración propia .Fuente: Memoria y resultados de la fase 1.Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "carto-veg-torrero"



Posición orográfica de los montes de Torrero

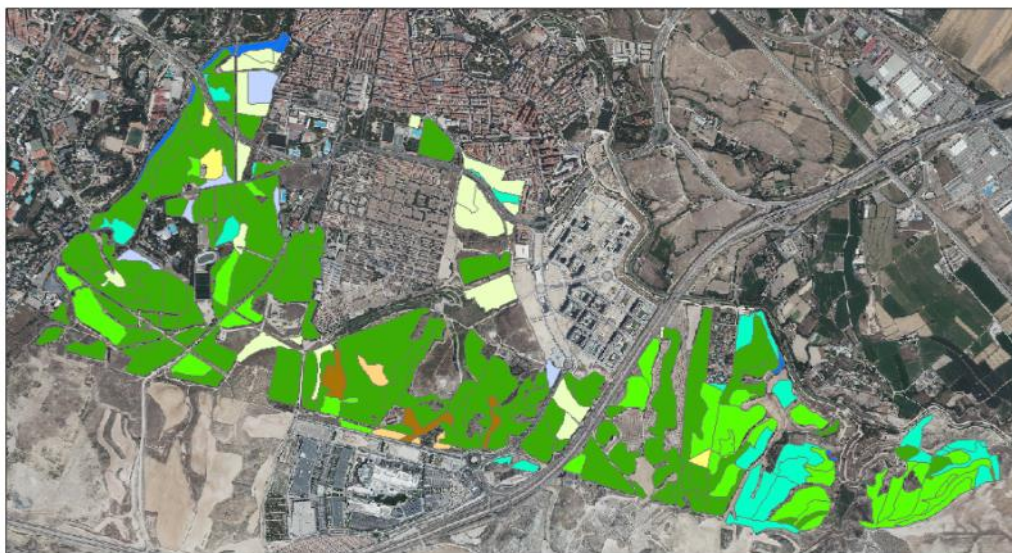
1:20.000



Leyenda

Ladera Llano Ribera Vaguada

Figura 27. Mapa de posición orográfica de los montes de Torrero. Elaboración propia. Fuente: Memoria y resultados de la fase 1. Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "carto-veq-torrero"



Estado de desarrollo de la masa de los montes de Torrero

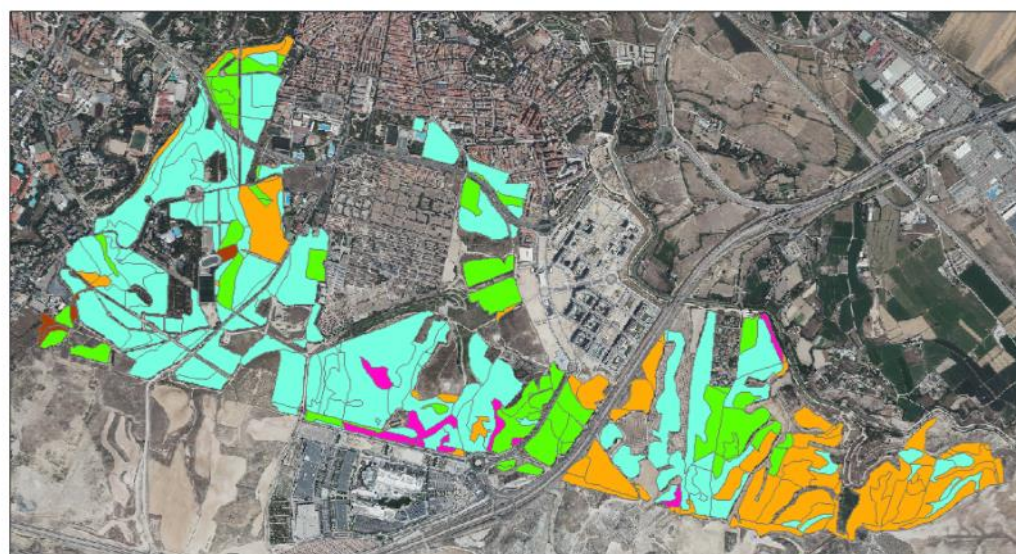
1:20.000



Leyenda

FA FJ LAxPJ LA LBxLA LB LB-MB MB Irregular

Figura 28. Mapa de estado de desarrollo de la masa de los montes de Torrero. Elaboración propia. Fuente: Memoria y resultados de la fase 1. Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "carto-veq-torrero"



Sotobosque de los montes de Torrero

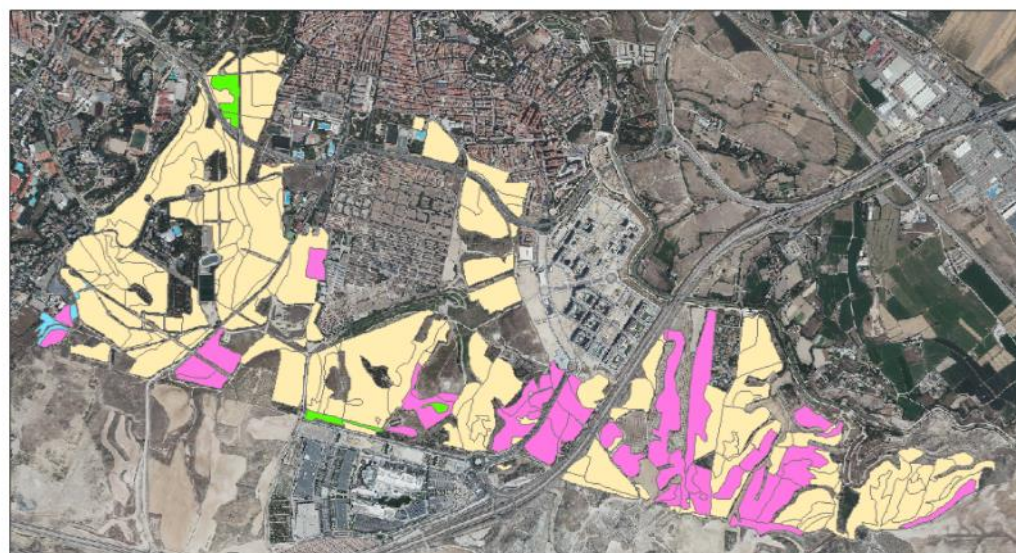
1:20.000



Leyenda

■ Cobertura media de matorral
 ■ Lecho forestal con matorral o/y pasto disperso
 ■ Matorral abundante
 ■ Pastizal
 ■ Pasto sobre suelos desnudo

Figura 29. Mapa de sotobosque de los montes de Torrero. Elaboración propia. Fuente: Memoria y resultados de la fase 1. Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "carto-vea-torrero"



Regeneración natural de los montes de Torrero

1:20.000



Leyenda

■ No hay
 ■ Presencia de diseminado
 ■ Presencia de diseminado y regenerado
 ■ Presencia de regenerado

Figura 30. Mapa de regeneración natural de los montes de Torrero. Elaboración propia. Fuente: Memoria y resultados de la fase 1. Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "carto-veg-torrero"

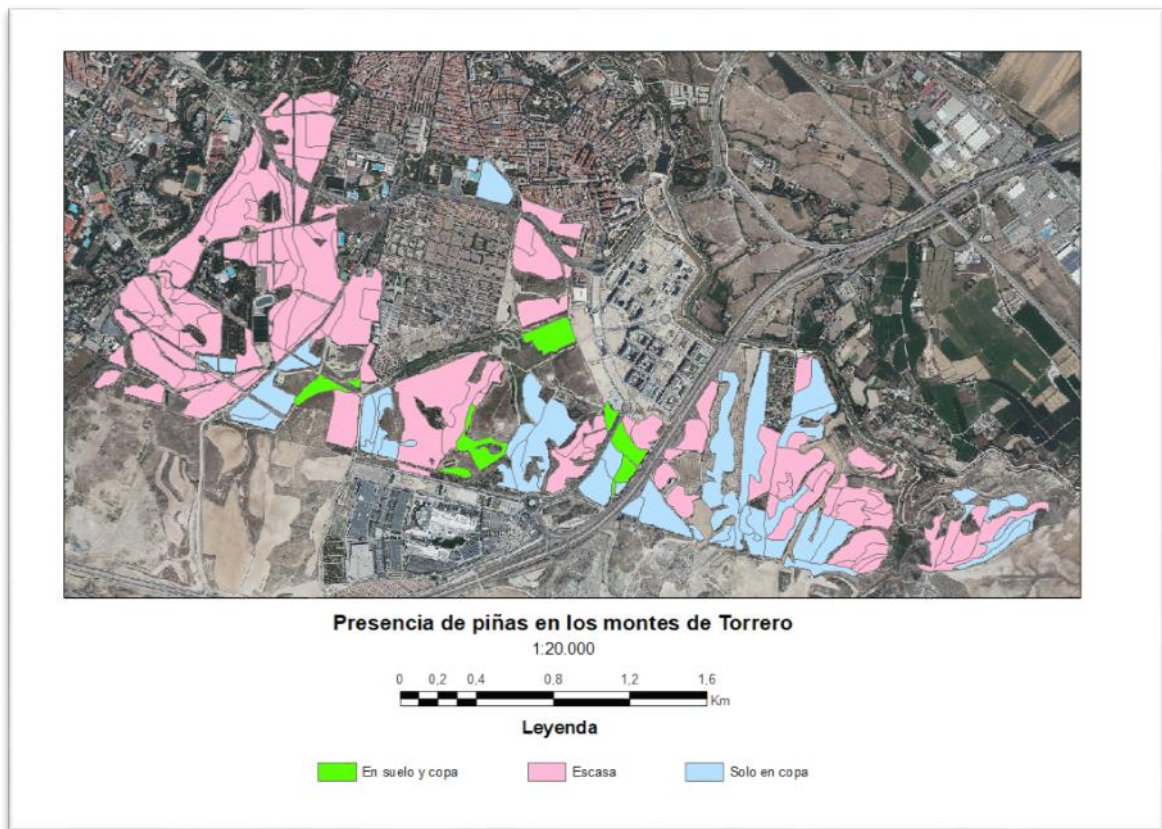


Figura 31. Mapa de presencia de piñas de los montes de Torrero. Elaboración propia. Fuente: Memoria y resultados de la fase 1. Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "carto-veg-torrero"

4.3. Análisis de la distribución de los niveles de verdor (NDVI) en función de las características del arbolado de los Montes de Torrero.

Para comprobar el efecto que tienen sobre el vigor vegetal las diferentes categorías de cada tipo de variable que se ha analizado en los montes de Torrero, se han realizado un análisis de varianza (ANOVA) y el Test de Bonferroni para cada uno de ellos.

Los resultados que se reflejan para cada uno de los análisis son los siguientes:

- Un estadístico descriptivo sobre el número total de observaciones de NDVI y cómo están repartidas en cada categoría.
- Análisis de la varianza en el que se muestra el estadístico F (valores superiores a 1 reflejan que la variable categórica influye en la distribución del vigor de la vegetación y cuanto mayor sea mayor afectación habrá).
- Cuadro con las medias de cada una de las categorías y el grupo en el que se encuentra de acuerdo a las comparaciones por pares (Test de Bonferroni).
- Gráfico con la distribución de la media y los intervalos de confianza (95%) del índice NDVI para cada grupo.

En el anexo 2 se muestran las tablas con el análisis de las diferencias entre las diferentes categorías con un intervalo de confianza del 95% para los distintos tipos de caracterización (Test de Bonferroni).

4.3.1 Relación entre las clases de edad de los árboles y el vigor de la vegetación (NDVI).

En el tipo de caracterización de clases de edad vemos que el valor del estadístico “F” es bastante elevado, ya que tiene un valor de 47,3, por lo que se puede señalar que este tipo tiene una influencia importante sobre el nivel de verdor. (Tabla 7)

La tabla 8 recoge los agrupamientos entre clases de edad. Mientras que en las columnas, cada una de las Letras en mayúscula identifica una agrupación de categorías, en las filas se reconoce el carácter de las diferencias entre los mismos, siendo estadísticamente significativas cuando no comparten Fila ni, por supuesto, Letra en mayúscula.

Por otra parte, en lo que respecta a la afectación de cada grupo, se observa que, en términos absolutos, la categoría que tiene un mayor vigor vegetal es la de 70-80 años mientras que el grupo de 20-30 años es la que menos. Las categorías 30-40, 40-50 y 50-60 pertenecen al grupo C, por lo que no tienen diferencias significativas entre ellas.

Estadísticos descriptivos - CLASES DE EDAD			
Categorías	Cuentas	Frecuencias	%
20-30	160	160	10,050
30-40	120	120	7,538
40-50	552	552	34,673
50-60	432	432	27,136
60-70	296	296	18,593
70-80	32	32	2,010
TOTAL	1592	1592	100,000

Tabla 6.- Estadísticos descriptivos. Clases de edad. Elaboración propia

Análisis de la varianza - CLASES DE EDAD					
Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	5	0,568	0,114	47,379	<0,0001
Error	1586	3,802	0,002		
Total corregido	1591	4,370			

Tabla 7.- Análisis de la varianza. Clases de edad. Elaboración propia

Medias LS - CLASES DE EDAD					
Categoría	Medias LS(NDVI)	Grupos			
70-80	0,522	A			
60-70	0,495	A	B		
30-40	0,490		B	C	
40-50	0,484			C	
50-60	0,479			C	
20-30	0,435				D

Tabla 8 .Medias Clases de edad. Elaboración propia

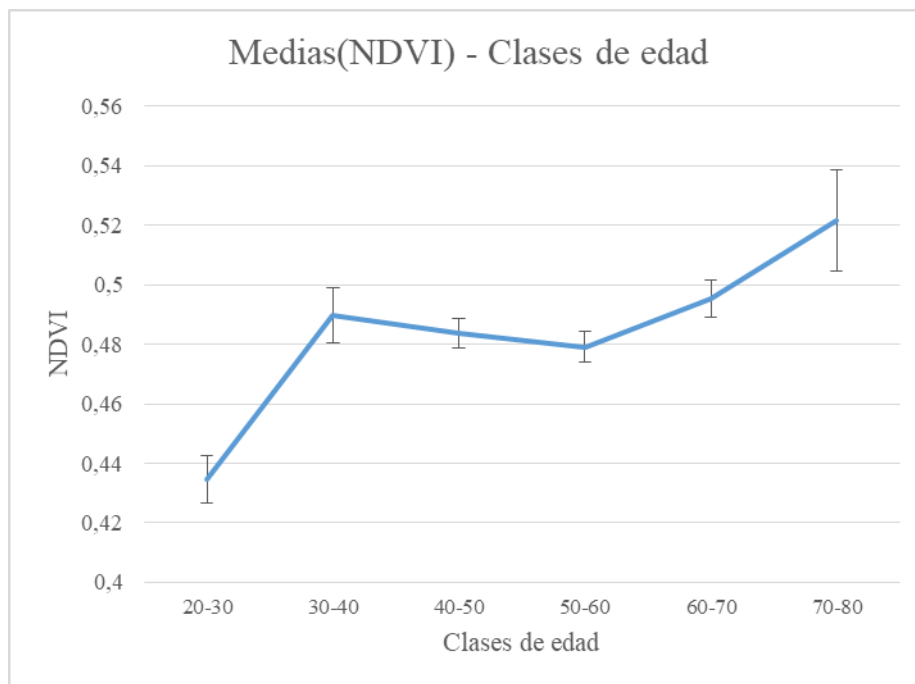


Figura.-32.-Gráfico de medias de clases de edad. Elaboración propia

4.3.2. Relación entre la calidad de la estación y el vigor de la vegetación (NDVI).

En relación con la calidad de la estación, en el análisis de la varianza se ha obtenido un valor de 8,894 para el estadístico “F”. Siendo mayor que 1 nos indica que tiene cierta influencia sobre el NDVI, pero por su magnitud se considera que es poco significativa. (Tabla 10).

Se aprecia que el mayor vigor vegetal lo tiene la categoría II y el menor la V. En general se observa que conforme más baja es la calidad de la estación más bajo es el vigor de la vegetación. El único caso en el que no se cumple esta regla es el de la categoría I cuyo índice es algo más bajo que el de la categoría II, aunque la diferencia es muy escasa. No se observan diferencias significativas entre las categorías II, I y III, ni entre las categorías I, III y IV y tampoco entre las III, IV y V. (Tabla11).

Estadísticos descriptivos -CALIDAD DE LA ESTACIÓN			
Categorías	Cuentas	Frecuencias	%
I	40	40	2,841
II	72	72	5,114
III	216	216	15,341
IV	760	760	53,977
V	320	320	22,727
TOTAL	1408	1408	100,000

Tabla 9.- Estadísticos descriptivos. Calidad de la estación. Elaboración propia

Análisis de varianza - CALIDAD DE LA ESTACIÓN					
Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	4	0,082	0,021	8,894	<0,0001
Error	1403	3,251	0,002		
Total corregido	1407	3,334			

Tabla 10.-Análisis de la varianza. Calidad de la estación. Elaboración propia

Medias LS - CALIDAD DE LA ESTACIÓN				
Categoría	Medias LS(NDVI)	Grupos		
II	0,508	A		
I	0,500	A	B	
III	0,496	A	B	C
IV	0,484		B	C
V	0,480			C

Tabla 11.-Medias Calidad de la estación. Elaboración propia

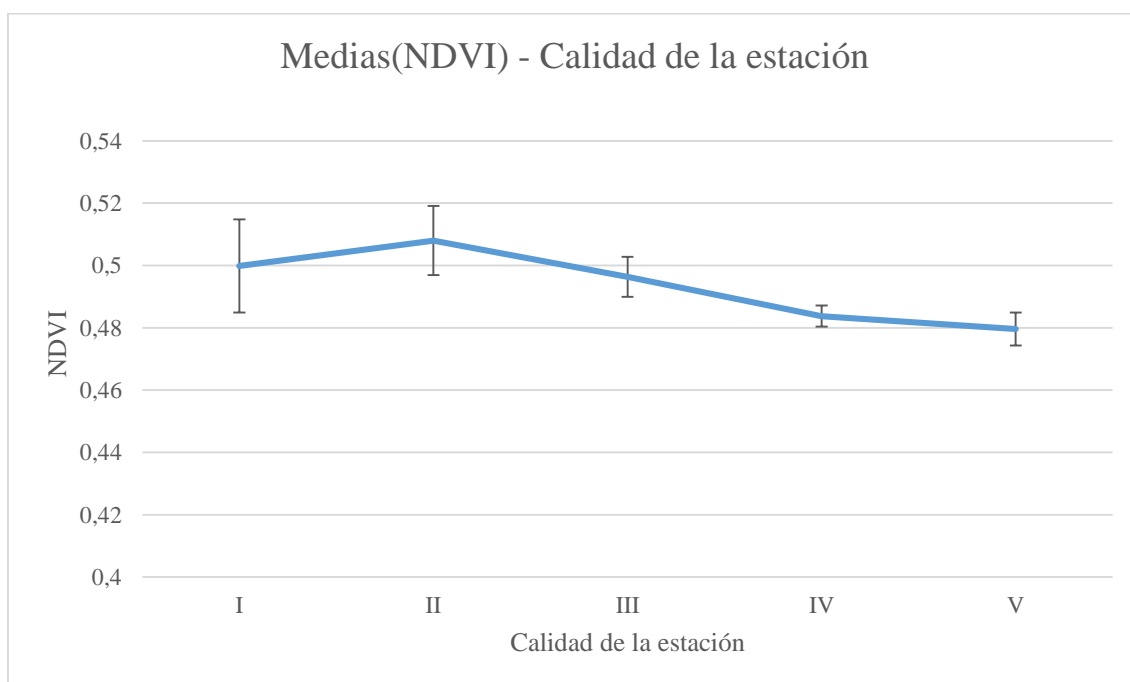


Figura 33. -Gráfico de medias Calidad de la estación. Elaboración propia

4.3.3. Relación entre la cobertura del pinar y el vigor de la vegetación (NDVI).

A partir del análisis de la varianza se comprueba como la cobertura del pinar es un factor de máxima relevancia en relación a la distribución del vigor de la vegetación. ($F=80,071$) (Tabla13).

Se puede ver también que las categorías de cobertura de los diferentes tipos de pinar que tienen un mayor nivel de verdor son por este orden: denso, denso con huecos, abierto y ralo. Esto es una cosa que ya podíamos sospechar. Por otra parte se puede también comprobar cómo los pinares de *Pinus pinea* tienen mayor vigor vegetal que los de *Pinus halepensis*. Los pinares de *Pinus canariensis* se muestran con un vigor vegetal intermedio entre los tipos anteriores, aunque es arriesgado concluir con rotundidad debido a los pocos datos que se tienen de este tipo de pinar. Finalmente indicar que, las zonas rasas y el pinar de *Pinus halepensis* ralo tienen el nivel de NDVI más bajo y no hay diferencias significativas entre ellas, aunque el nivel de las zonas rasas es superior. (Tabla 14).

Se han establecido cinco grupos de significación (A, B, C, D y E) en función de la cobertura del pinar. El grupo que más clases abarca tiene cinco clases.

Estadísticos descriptivos-COBERTURA DEL PINAR			
Categorías	Cuentas	Frecuencias	%
Pinar <i>P.canariensis</i> denso	8	8	0,429
Pinar <i>P.halepensis</i> abierto	256	256	13,734
Pinar <i>P.halepensis</i> denso	928	928	49,785
Pinar <i>P.halepensis</i> denso con huecos	184	184	9,871
Pinar <i>P.halepensis</i> ralo	40	40	2,146
Pinar <i>P.pinea</i> abierto	32	32	1,717
Pinar <i>P.pinea</i> denso	72	72	3,863
Pinar <i>P.pinea</i> denso con huecos	8	8	0,429
Pinar <i>P.pinea</i> ralo	48	48	2,575
Rasa	288	288	15,451
TOTAL	1864	1864	100,000

Tabla.-12.-Estadísticos descriptivos. Cobertura del pinar. Elaboración propia

Análisis de varianza- COBERTURA DEL PINAR					
Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	9	1,604	0,178	80,071	<0,0001
Error	1854	4,127	0,002		
Total corregido	1863	5,732			

Tabla 13.- Análisis de la varianza. Cobertura del pinar. Elaboración propia

Medias LS - COBERTURA DEL PINAR						
Categoría	Medias(NDVI)	Grupos				
Pinar <i>P.pinea</i> denso	0,538	A				
Pinar <i>P.canariensis</i> denso	0,511	A	B			
Pinar <i>P.halepensis</i> denso	0,501	A	B			
Pinar <i>P.pinea</i> denso con huecos	0,500	A	B			
Pinar <i>P.pinea</i> abierto	0,484		B	C		
Pinar <i>P.halepensis</i> denso con huecos	0,481		B	C	D	
Pinar <i>P.pinea</i> ralo	0,455			C	D	
Pinar <i>P.halepensis</i> abierto	0,449			C	D	
Rasa	0,441				D	E
Pinar <i>P.halepensis</i> ralo	0,405					E

Tabla 14.-Medias Cobertura del pinar. Elaboración propia

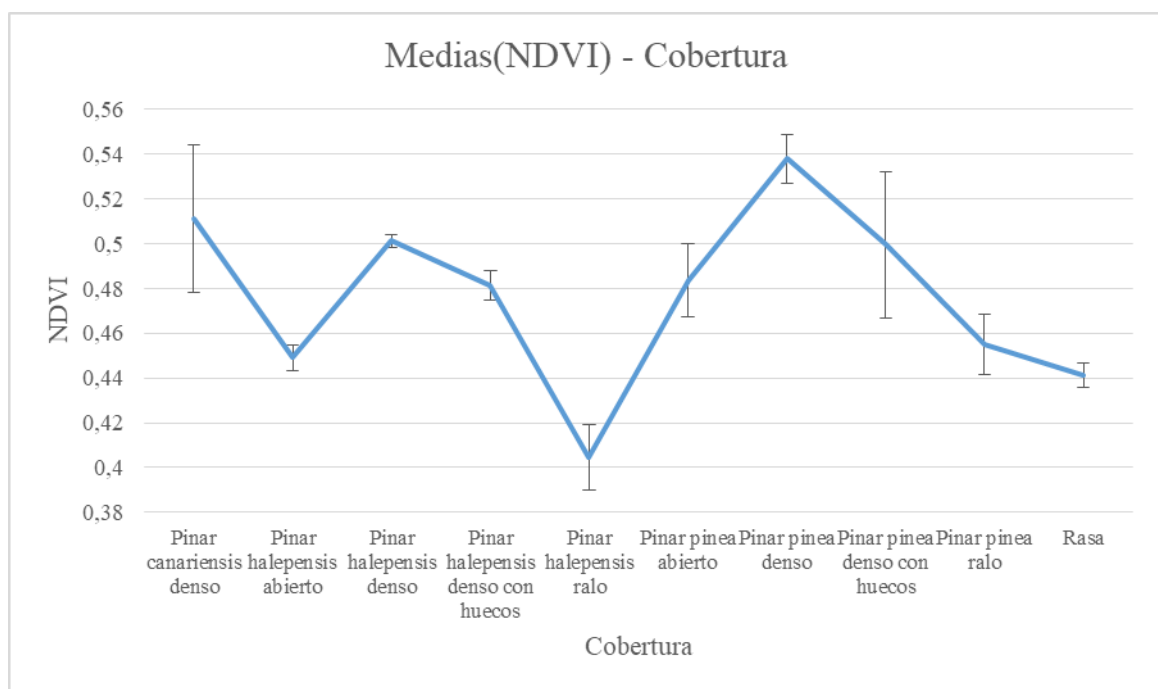


Figura 34.- Gráfico de medias Cobertura del pinar. Elaboración propia

4.3.4. Relación entre la posición orográfica y el vigor de la vegetación (NDVI).

El análisis de la varianza realizado nos determina un valor de la razón “F” de 49,37 que podemos considerar como un nivel alto por lo que se puede decir que la posición orográfica de una masa forestal tiene una afectación relevante sobre el vigor vegetal. Este tipo de caracterización se encuentra en un nivel de influencia parecido al de las clases de edad. (Tabla 16).

Los valores de las medias nos muestran como los mayores niveles de verdor los tienen las categorías de “ribera” y “vaguada” por este orden no existiendo diferencias significativas entre ellas. Las parcelas que se encuentran en las laderas son las que menor vigor vegetal tienen, existiendo diferencias significativas con el resto de las clases. (Tabla 17).

Estadísticos descriptivos-POSICIÓN OROGRÁFICA			
Categorías	Cuentas	Frecuencias	%
Ladera	912	912	44,186
Llano	744	744	36,047
Ribera	72	72	3,488
Vaguada	336	336	16,279
TOTAL	2064	2064	100,000

Tabla 15.- Estadísticos descriptivos. Posición orográfica. Elaboración propia

Análisis de varianza-POSICIÓN OROGRÁFICA					
Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	3	0,496	0,165	49,370	<0,0001
Error	2060	6,905	0,003		
Total corregido	2063	7,401			

Tabla 16.- Análisis de la varianza. Posición orográfica. Elaboración propia

Medias LS -POSICIÓN OROGRÁFICA				
Categoría	Medias LS(NDVI)	Grupos		
Ribera	0,509	A		
Vaguada	0,496	A		
Llano	0,480		B	
Ladera	0,458			C

Tabla 17.-Medias Posición orográfica. Elaboración propia

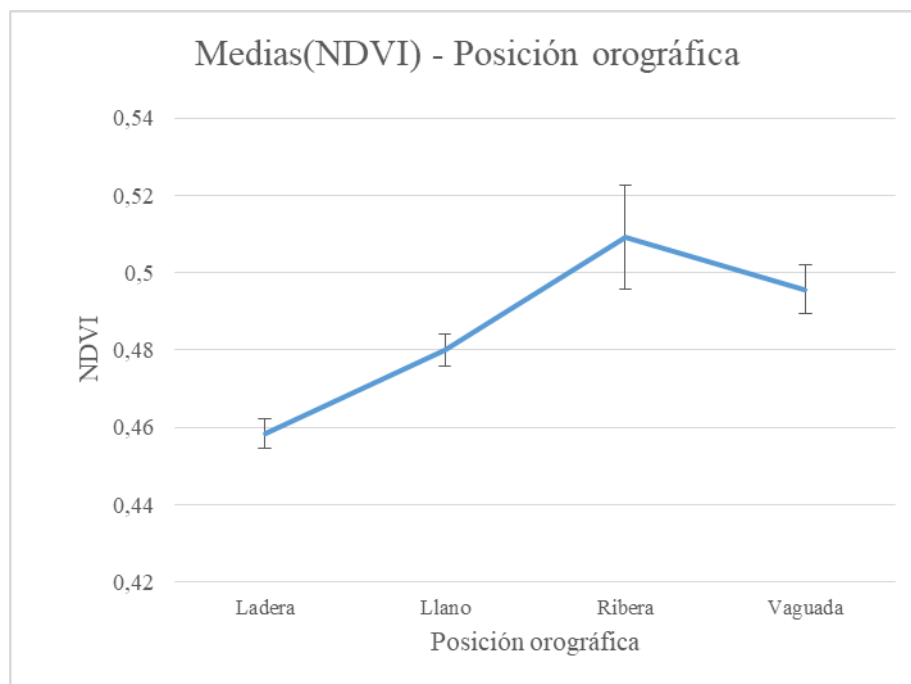


Figura 35.- Gráfico medias Posición orográfica. Elaboración propia

4.3.5. Relación entre el estado de desarrollo de la masa y el vigor de la vegetación (NDVI).

A tenor del estadístico “F” (27,915), se puede decir que el estado de desarrollo de la masa afecta al vigor de la vegetación situando en un nivel medio su influencia sobre ella. (Tabla 19).

Las medias de los datos nos indican que el mayor vigor de la vegetación corresponde a las categorías “fustal joven” y “fustal adulto” por este orden. En un nivel intermedio se sitúa el “latizal alto” y la “masa irregular” y en el nivel más bajo están el “monte bravo” y el “latizal bajo”, llama la atención el dato del mayor nivel de verdor del “monte bravo” con respecto al “latizal bajo”. Las categorías en las que hay mezclados diferentes tipos de masa siguen patrones de comportamiento parecidos a los que hemos citado. (Tabla 20).

Se han configurado cinco grupos de significación (A, B, C, D y E) en función del estado de desarrollo de la masa. Existen dos grupos con cuatro clases de estado y hay uno que solamente tiene una. Se trata del grupo A, esto significa que la clase “fustal joven” tiene diferencias significativas con todas las demás clases.

Estadísticos descriptivos -ESTADO DE DESARROLLO DE LA MASA			
Categorías	Cuentas	Frecuencias	%
Fustal adulto (FA)	72	72	4,265
Fustal joven (FJ)	48	48	2,844
Irregular	24	24	1,422
Latizal alto (LA)	848	848	50,237
LAXFJ (mezclados)	152	152	9,005
Latizal bajo (LB)	184	184	10,900
LB-MB (mezclados)	32	32	1,896
LB-LA (mezclados)	288	288	17,062
Monte bravo (MB)	40	40	2,370
TOTAL	1688	1688	100,000

Tabla 18.- Estadísticos descriptivos. Estado de desarrollo de la masa. Elaboración propia

Análisis de varianza- ESTADO DE DESARROLLO DE LA MASA					
Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	8	0,600	0,075	27,915	<0,0001
Error	1679	4,508	0,003		
Total corregido	1687	5,108			

Tabla 19.- Análisis de la varianza. Estado de desarrollo de la masa. Elaboración propia

Medias LS -ESTADO DE DESARROLLO DE LA MASA						
Categoría	Medias(NDVI)	Grupos				
FJ	0,537	A				
FA	0,509		B			
LAXFJ	0,501		B			
Irregular	0,491		B	C		
LA	0,487		B	C		
LBxLA	0,472			C	D	
MB	0,468			C	D	E
LB-MB	0,453				D	E
LB	0,445					E

Tabla 20.- Medias Estado de desarrollo de la masa. Elaboración propia

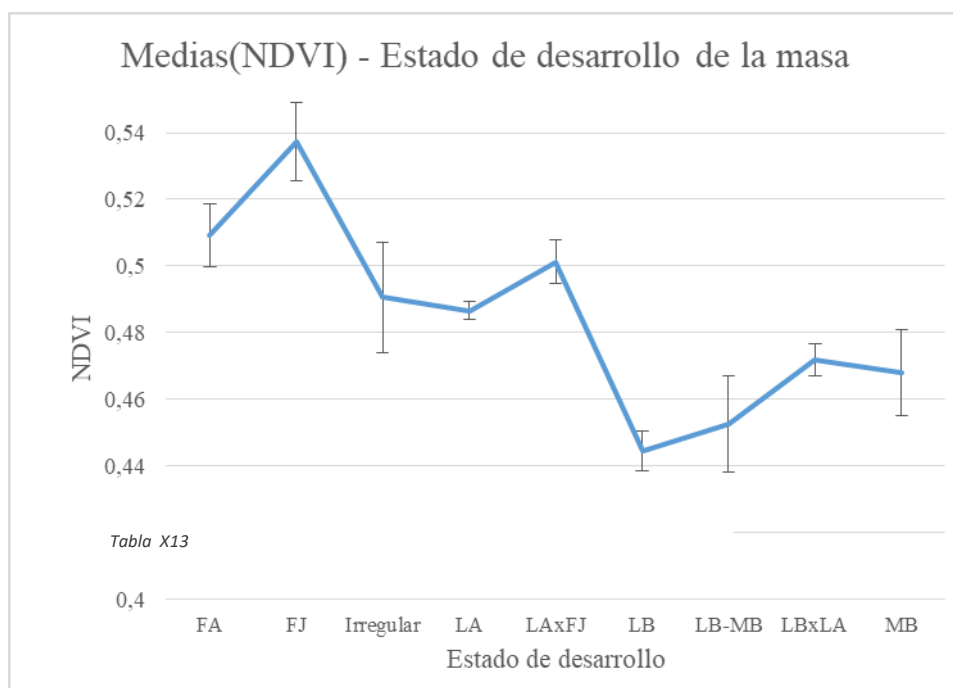


Figura 36.- Gráfico de medias Estado de desarrollo de la masa. Elaboración propia

4.3.6. Relación entre el tipo de sotobosque y el vigor de la vegetación (NDVI).

El valor del estadístico “F” obtenido en el análisis de la varianza es de 43,45. Esto significa que el tipo de sotobosque influye en la distribución del verdor de la vegetación de manera similar al de las categorías de clases de edad o posición orográfica. (Tabla 22).

Los datos de las medias nos muestran que las categorías de sotobosque que proporcionan un mayor nivel de vigor vegetal son el “lecho forestal con matorral”, el “matorral abundante” y el “pastizal”. Entre estas tres clases no hay diferencias significativas y pertenecen al mismo grupo (A). Las categorías de “pasto sobre suelo desnudo” y “cobertura media de matorral” son las que tienen menor índice NDVI perteneciendo las dos al mismo grupo de significación (C). (Tabla 23).

Estadísticos descriptivos- SOTOBOSQUE			
Categorías	Cuentas	Frecuencias	%
Cobertura media de matorral	496	496	25,101
Lecho forestal con matorral o/y pasto disperso	952	952	48,178
Matorral abundante	48	48	2,429
Pastizal	392	392	19,838
Pasto sobre suelo desnudo	88	88	4,453
TOTAL	1976	1976	100,000

Tabla 21.- Estadísticos descriptivos. Sotobosque. Elaboración propia

Análisis de varianza- SOTOBOSQUE					
Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	5	0,704	0,141	43,450	<0,0001
Error	1978	6,408	0,003		
Total corregido	1983	7,111			

Tabla 22.- Análisis de la varianza. Sotobosque. Elaboración propia

Medias LS- SOTOBOSQUE				
Categoría	Medias LS(NDVI)	Grupos		
Lecho forestal con matorral o/y pasto disperso	0,487	A		
Matorral abundante	0,481	A	B	
Pastizal	0,480	A	B	
Pasto sobre suelo desnudo	0,462		B	C
Cobertura media de matorral	0,448			C

Tabla 23.- Medias Sotobosque. Elaboración propia

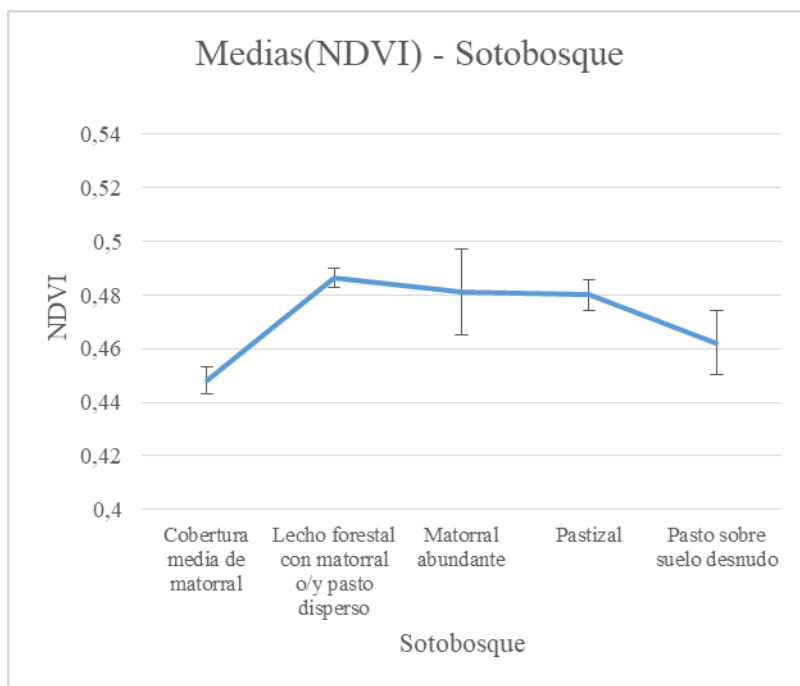


Figura 37.- Gráfico de medias Sotobosque. Elaboración propia

4.3.7. Relación entre los tipos de presencia de regenerado y el vigor de la vegetación (NDVI).

Se ha obtenido en el análisis de la varianza un valor de 2,19 para la razón “F”. Al ser este valor mayor que 1 no podemos decir que no tenga ninguna afectación, pero por su magnitud deducimos que es muy poco relevante. (Tabla 24).

Observamos por otra parte que las cuatro categorías pertenecen al mismo grupo de significación por lo que se puede afirmar que no existen diferencias significativas entre ellas. (Tabla 25).

Estadísticos descriptivos - PRESENCIA DE REGENERADO			
Categorías	Cuentas	Frecuencias	%
No hay	1320	1320	76,744
Presencia de diseminado	328	328	19,070
Presencia de diseminado y regenerado	40	40	2,326
Presencia de regenerado	32	32	1,860
TOTAL	1720	1720	100,000

Tabla 24.- Estadísticos descriptivos. Presencia de regenerado. Elaboración propia

Análisis de varianza- PRESENCIA DE REGENERADO					
Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	3	0,020	0,007	2,196	0,087
Error	1716	5,325	0,003		
Total corregido	1719	5,345			

Tabla 25.- Análisis de la varianza. Presencia de regenerado. Elaboración propia

Medias LS -PRESENCIA DE REGENERADO		
Categoría	Medias LS(NDVI)	Grupos
Presencia de diseminado	0,482	A
Presencia de diseminado y regenerado	0,478	A
No hay	0,478	A
Presencia de regenerado	0,455	A

Tabla 26. Medias Presencia de regenerado. Elaboración propia

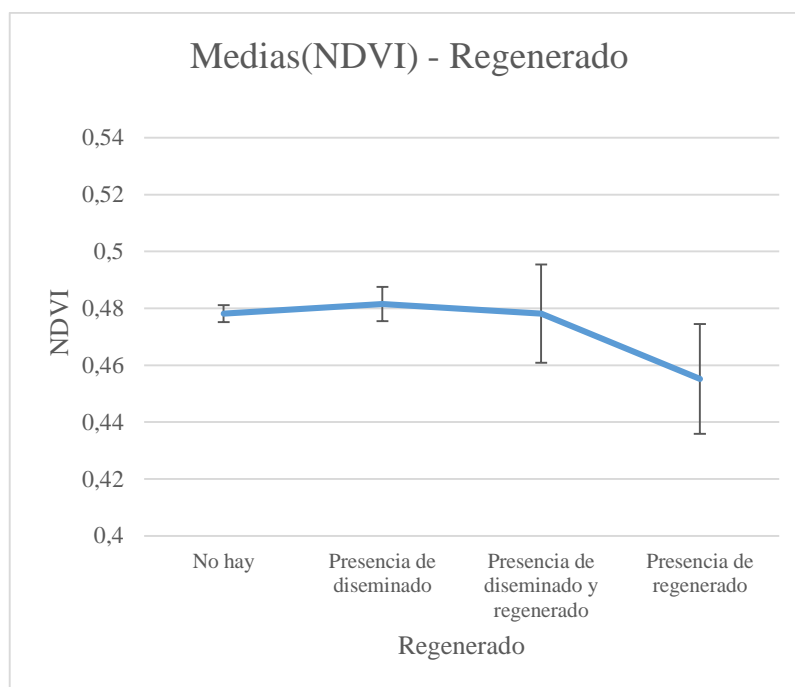


Figura 38.- Gráfico de medias. Presencia de regenerado. Elaboración propia

4.3.8. Relación entre los tipos de presencia de piñas y el vigor de la vegetación (NDVI).

En este tipo de caracterización el valor obtenido en el estadístico “F” es de 16,05. Esto nos indica que la presencia de piñas en el bosque es un factor que, si bien no es relevante, si se puede decir que tiene cierta afectación en el desarrollo de la vegetación. (Tabla 28).

En relación a las medias de NDVI, las categorías “presencia en suelo y copa” y “presencia escasa” no tienen diferencias significativas entre ellas siendo su vigor vegetal mayor que la clase “presencia en copa”. (Tabla 29).

Estadísticos descriptivos - PRESENCIA DE PIÑAS			
Categorías	Cuentas	Frecuencias	%
En suelo y copa	72	72	5,085
Escasa	944	944	66,667
Solo en copa	400	400	28,249
TOTAL	1416	1416	100,000

Tabla 27.- Estadísticos descriptivos. Presencia de piñas. Elaboración propia

Análisis de varianza- PRESENCIA DE PIÑAS					
Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	2	0,076	0,038	16,054	<0,0001
Error	1413	3,364	0,002		
Total corregido	1415	3,440			

Tabla 28.- Análisis de varianza. Presencia de piñas. Elaboración propia

Medias LS - PRESENCIA DE PIÑAS			
Categoría	Medias LS(NDVI)	Grupos	
En suelo y copa	0,498	A	
Escasa	0,491	A	
Solo en copa	0,475		B

Tabla 29.- Medias Presencia de piñas. Elaboración propia

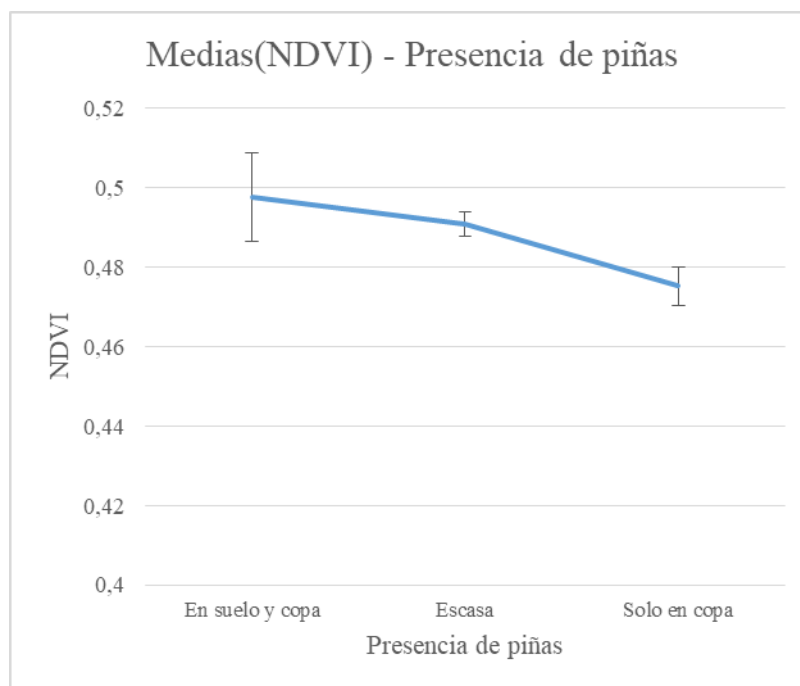


Figura 39.- Gráfico de medias. Presencia de piñas. Elaboración propia

4.4. Relación existente entre los niveles del índice de vegetación (NDVI) y las diferentes variables dasométricas obtenidas en el inventario forestal de los Montes de Torrero.

Para comprobar la relación existente entre los valores de NDVI y las variables dasométricas, se ha utilizado el coeficiente de correlación lineal de Pearson.

En la tabla 30, se muestra para cada una de las variables dasométricas el valor y signo numérico de la correlación. El signo del coeficiente de correlación de Pearson es positivo en todos los casos y por lo tanto la correlación es positiva. En cuanto a su valor oscila entre 0,325 y 0,571 por lo que en la generalidad de los casos está entre débil y moderada.

En el anexo 3 están reflejados dos gráficos de dispersión para cada variable dasométrica, uno donde se representan todos los puntos con su línea de tendencia y la elipse que las engloba y otro donde esos puntos están identificados por años (de 2013 a 2020). En este último gráfico se han dibujado únicamente las líneas de tendencia de tres años para una mayor claridad.

En todos estos gráficos de dispersión se observa que existe un número no despreciable de valores cero para las variables dasométricas. La explicación a ello es que en los gráficos se reflejan los valores de todas las teselas y los valores cero corresponden en su mayoría a zonas

desarboladas o rasas y plantaciones de *Pinus halepensis*. Estas teselas suponen aproximadamente un 25% del total, y aunque, su valor es cero para la variable dasométrica correspondiente, tienen un valor distinto de cero como índice de vegetación NDVI.

VARIABLE DASOMÉTRICA	COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL (r)
Volumen con corteza (Vcc)	0,394
Área basimétrica (G)	0,421
Incremento anual de volumen con corteza (IAVcc)	0,434
Diámetro cuadrático medio (Dg)	0,325
Número de pies (N)	0,426
Altura dominante (Ho)	0,485
Fracción de cabida cubierta (Fcc).	0,571

Tabla 30.- Coeficientes de correlación (r) Variables dasométricas. Elaboración propia

4.5. Evolución temporal (2013-2020) de los niveles de verdor (NDVI) en función de la estructura del arbolado (Montes de Torrero)

En este apartado se va a analizar la variabilidad interanual del vigor de la vegetación y su relación con las condiciones climáticas a partir de índices de sequía.

Estadísticos descriptivos -PERIODOS ANUALES 2013-2020			
Categorías	Cuentas	Frecuencias	%
2013	259	259	12,500
2014	259	259	12,500
2015	259	259	12,500
2016	259	259	12,500
2017	259	259	12,500
2018	259	259	12,500
2019	259	259	12,500
2020	259	259	12,500
TOTAL	2072	2072	100,000

Tabla 31.- Estadísticos descriptivos. NDVI Años 2013-20. Elaboración propia

Análisis de varianza- PERIODOS ANUALES 2013-2020					
Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	7	0,715	0,102	31,282	<0,0001
Error	2064	6,736	0,003		
Total corregido	2071	7,451			

Tabla 32. Análisis de la varianza. NDVI Años 2013-20. Elaboración propia

Medias LS -ANUAL (2013-2020)						
Categoría	Medias(NDVI)	Grupos				
2020	0,505	A				
2019	0,499	A	B			
2018	0,483		B	C		
2016	0,472			C	D	
2014	0,461				D	E
2017	0,459				D	E
2015	0,458				D	E
2013	0,452					E

Tabla 33.- Medias. NVDI Años 2013-20. Elaboración propia

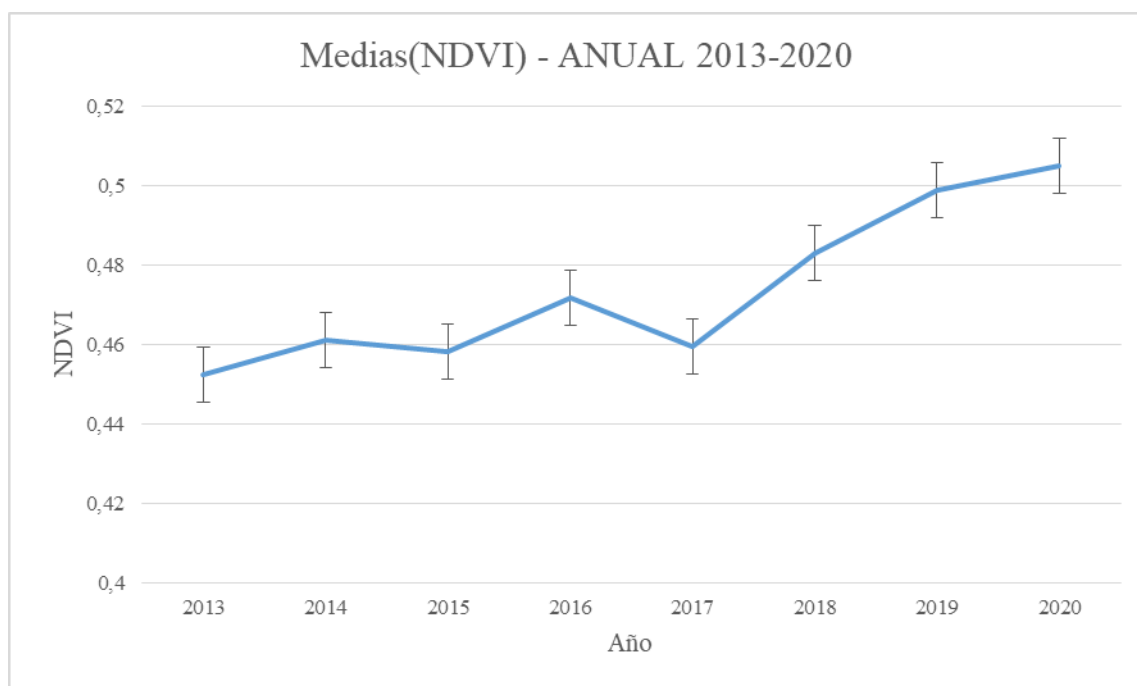


Figura 40. Gráfico medias. NVDI Años 2013-20. Elaboración propia

Se comprueba en la tabla 32 que los diversos factores o circunstancias acaecidas a lo largo del año en el periodo entre el año 2013 y el 2020 han tenido una incidencia importante en el desarrollo y nivel de verdor de la vegetación ($F=31,282$).

Podemos ver como entre el año 2013 y el 2017 no se recogen grandes diferencias en la media del índice NDVI. De hecho vemos como los años 2013, 2014, 2015 y 2017 pertenecen al mismo grupo E y por lo tanto no tienen diferencias significativas. Sin embargo a partir del 2017 y hasta 2020 se produce un incremento anual progresivo en el valor medio del índice. (Tabla 33 y Figura 40).

Para analizar las razones que han motivado estas variaciones anuales en los niveles de NDVI hemos obtenido los valores de los índices de sequía SPI y SPEI en las escalas temporales (1, 6, 12 y 24 meses) descargando los datos de la página web: <https://monitordesequia.csic.es/monitor/?lang=es#index=spei#months=1#week=3#month=8#year=2021> en el punto de coordenadas (41,62, -0,89) que corresponde a la zona donde se encuentran los montes de Torrero. Estos índices muestran la severidad de la sequía meteorológica de tal modo que cuanto más negativo es el valor, más severa es la sequía meteorológica.



Figura 41. Imagen descarga de página web "monitordesequía"

Se obtienen cuatro valores al mes de cada uno de los ocho años que comprende el periodo analizado, correspondientes a los días 1, 9, 16 y 23 de cada mes. Esto supone que tenemos 48 datos anuales y un total de 384 valores por índice.

Las medias obtenidas de estos índices entre los años 2013 y 2020 se reflejan en la tabla 34.

AÑO	SPI24	SPEI24	SPI12	SPEI12	SPI6	SPEI6	SPI 1	SPEI1
2013	-0,353	-0,809	0,698	0,407	0,848	0,862	0,414	0,382
2014	0,663	0,421	0,186	0,148	-0,069	-0,205	0,173	0,107
2015	0,432	0,148	0,425	0,139	0,446	0,151	0,055	0,022
2016	0,847	0,496	0,742	0,631	0,370	0,437	0,255	0,300
2017	0,541	0,293	0,001	-0,138	0,040	-0,076	-0,255	-0,333
2018	0,692	0,357	0,888	0,625	0,855	0,745	0,738	0,719
2019	0,945	0,528	0,316	-0,024	-0,174	-0,569	-0,026	-0,244
2020	1,096	0,660	1,126	0,828	0,906	0,899	0,307	0,373

Tabla 34.- Medias índices SPI y SPEI. Años 2013-20. Elaboración propia

En la figura 42 se muestra un gráfico comparativo del periodo entre 2013 y 2020 en el que se reflejan los valores del índice SPI24 a lo largo de cada año. En él se puede apreciar que el único periodo de sequía que se produjo en estos años tuvo lugar entre los meses de marzo y septiembre del año 2013, siendo por tanto este año el más seco de la serie. Los años más húmedos fueron el 2020 y 2019. El año 2020 fue en general más seco durante el segundo semestre que el primero, mientras que en el 2019 los meses más húmedos fueron los de noviembre y diciembre. Los años de 2014 a 2018 a nivel global anual fueron similares siendo algo más húmedos el 2014, 16 y 18. Sin embargo se pueden apreciar diferencias interanuales, así el año 2014, aun siendo un año bastante regular, tuvo un mes de octubre más seco que el resto. El año 2015 tuvo un segundo semestre más seco que el primero. El año 2016 tuvo una primavera que destaca por su humedad. El año 2017 aunque tuvo oscilaciones se mantuvo bastante regular. Por último el 2018 tuvo un primer semestre bastante seco recuperando la humedad en la segunda parte del año.

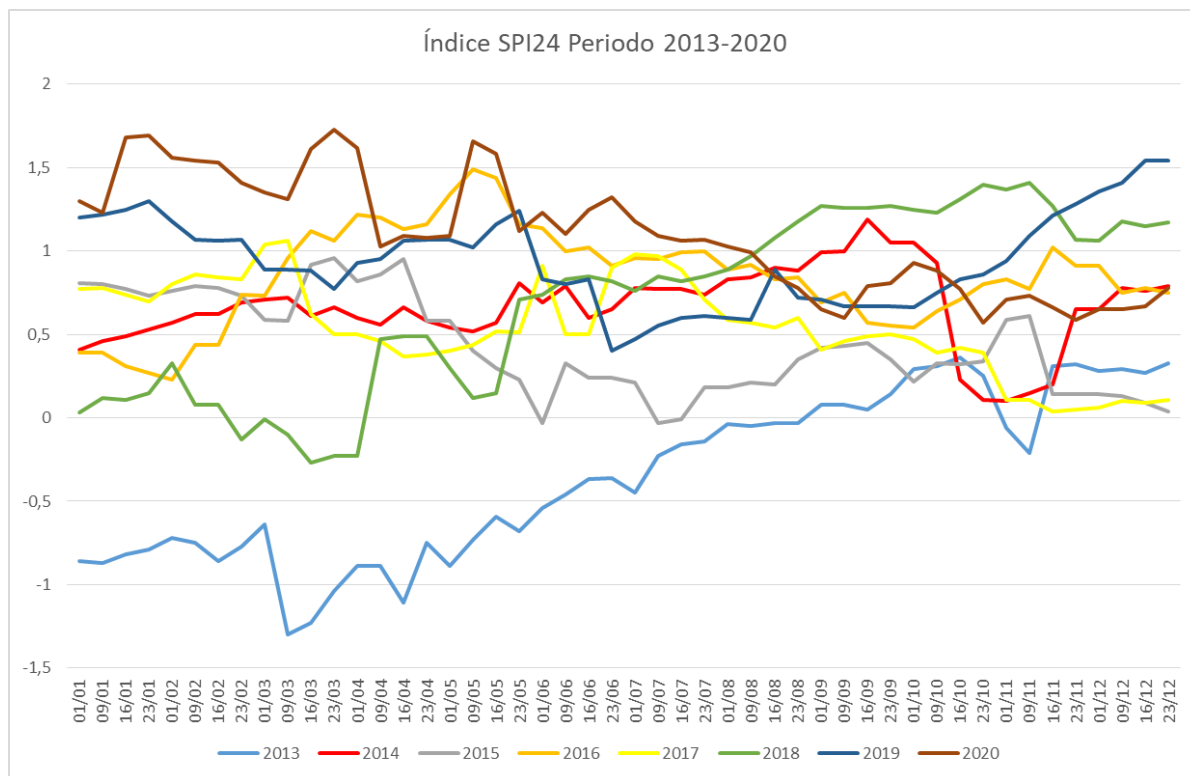


Figura 42.- Gráfico comparativo anual SPI 24 Años 2013-20. Elaboración propia.

Calculando los coeficientes de correlación de Pearson entre la media del índice NDVI y cada uno de los índices en este periodo obtenemos los datos recogidos en la tabla 35.

	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (2013-2020)
NVDI-SPI 1	0,171115821
NVDI-SPEI 1	0,136022314
NVDI-SPI 6	0,10725818
NVDI-SPEI 6	0,038148214
NVDI-SPI 12	0,495837703
NVDI-SPEI 12	0,396600344
NVDI-SPI 24	0,771586623
NVDI-SPEI 24	0,65374646

Tabla 35.- Coeficientes de correlación SPI y SPEI con NDVI. Años 2013-20. Elaboración propia

Todos los valores de los dos índices en sus diferentes escalas temporales están comprendidos entre cero y uno por lo que todos tienen un coeficiente de correlación positivo. No obstante, se pueden apreciar diferencias significativas entre sus valores, siendo el índice SPI 24 el más alto y por lo tanto el que mejor se correlaciona.

Recordamos que un SPI de 24 meses es una comparación de la precipitación de 24 meses consecutivos con la registrada en los mismos 24 meses consecutivos de todos los años precedentes para los que se dispone de datos.

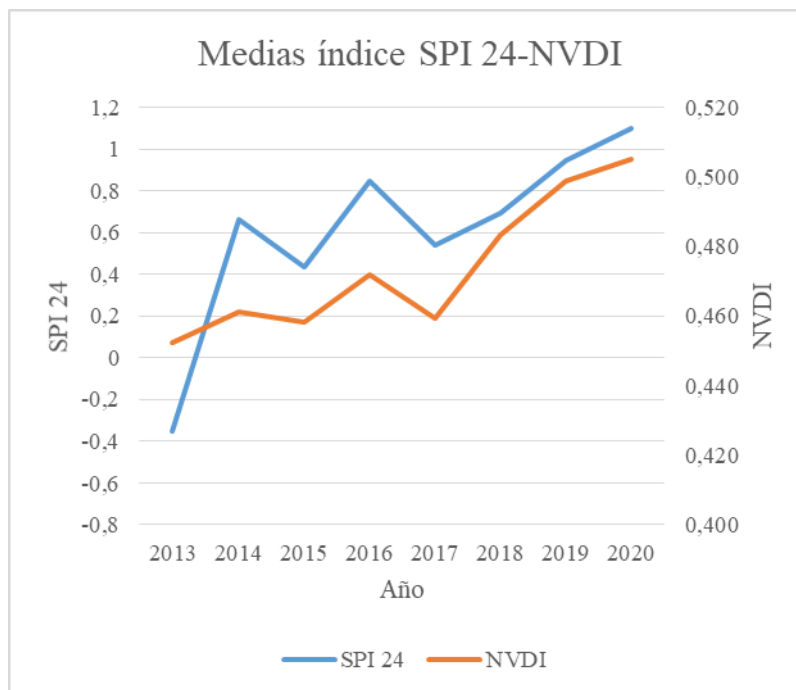


Figura 43.- Gráfico comparativo medias SPI 24 y NDVI. Años 2013-20. Elaboración propia.

Si comparamos el gráfico de las medias del índice SPI 24 y el de las medias del índice NDVI (Figura 43) observamos que tienen bastantes semejanzas. Se puede ver en los dos gráficos un aumento progresivo que se produce entre el año 2016 y el 2020. La diferencia más significativa es que el incremento entre el año 2013 y 2014 es mucho más acusado para el SPI 24.

Las semejanzas de los dos gráficos se ponen posteriormente de manifiesto con el cálculo del coeficiente de correlación en el que se obtiene el valor de 0,772 lo que nos da muestras de que se acerca bastante a lo que sería una relación directa. Es decir que, cuanto mejores son las condiciones de humedad en un año determinado, más elevados son los valores de NDVI. Este último extremo da a entender que los pinares no han experimentado un incremento sustancial debido al paso del tiempo como se podría deducir al examinar la Figura 40, sino que, los patrones temporales del índice reproducen las condiciones de humedad en cada año. Sin embargo, las diferencias en los valores del índice de sequía en los primeros años de la serie son más acusadas que las registradas mediante el NDVI. Este último compartimiento podría estar relacionado con menor dependencia que tienen las especies arbóreas a las condiciones de humedad coyunturales, dado que en ausencia de precipitación, los sistemas radiculares del arbolado pueden suministrar humedad de niveles edáficos más profundos.

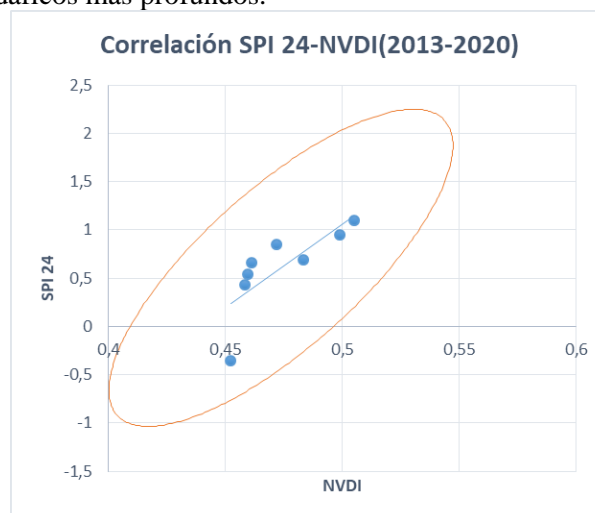


Figura 44. Gráfico de dispersión correlación NDVI-SPI24 2013-20. Elaboración propia

5.- Conclusiones

El primero de los objetivos que se han determinado en el trabajo es analizar las características de los montes de Torrero en relación a su composición específica/fisionómica, cobertura y características dasométricas. Relacionadas con este objetivo se han obtenido las siguientes conclusiones:

- En general, los valores de las variables dasométricas de las teselas van disminuyendo de oeste a este.
- Alrededor del 75% del área forestal corresponde a pinar de *Pinus halepensis*, siendo el 50% del área total de cobertura densa.
- Cerca de un 80% del arbolado tiene un estado de desarrollo de las masa de las clases: latizal alto, latizal bajo o mezcla de los dos anteriores.
- El potencial de regeneración es escaso.

El segundo de los objetivos propuestos es analizar la distribución espacio-temporal de los niveles de verdor en función de las características del arbolado de los montes de Torrero.

Como resultado de los análisis de varianza realizados, se concluye que el tipo de caracterización que más influye en el nivel de vigor de la vegetación, con bastante diferencia sobre las demás, es la cobertura del pinar. En este tipo de caracterización se observa que el vigor de la vegetación va decreciendo en el siguiente orden de densidad de la masa: denso, denso con huecos, abierto y ralo. Además, vemos que tienen mayor índice NDVI los pinares de *Pinus pinea* que los de *Pinus halepensis*, aunque, como ya hemos dicho, hay que tener en cuenta que los pinares de *Pinus halepensis* ocupan aproximadamente una superficie del 75% por el 8% de los pinares de *Pinus pinea*.

La fracción de cabida cubierta (FCC) es la variable dasométrica que mejor correlación tiene con el vigor de la vegetación y, por lo tanto, un aumento de esta variable tiene una repercusión mayor que en el resto de las variables, en el incremento del valor del índice NDVI.

La cobertura del pinar es un indicador de la densidad de la masa y las categorías establecidas tienen una relación directa con la fracción de cabida cubierta (FCC). Esto lo que hace es reafirmar nuestras conclusiones ya que el tipo de caracterización y la variable dasométrica que tienen una mayor incidencia sobre el verdor de la vegetación, a su vez están relacionadas entre sí.

Existen otros tres tipos de caracterización cuya influencia en el verdor de la vegetación, aun no siendo tan acusado como en el caso anterior, tienen una importancia relevante. Estos son las clases de edad, la posición orográfica y el tipo de sotobosque existente. En cuanto a la edad del arbolado vemos como en general crece el índice NDVI cuanto mayor es la edad. En relación a la posición orográfica hay un mayor verdor en las zonas de “ribera” y “vaguada” que en el resto, aunque éstas solo ocupan un 20% de la superficie total. Las zonas “llanas” tienen en general más verdor que las “laderas”. Por último, en cuanto al tipo de sotobosque, se puede afirmar que no existen diferencias muy significativas si bien los dos tipos con menor índice son “cobertura media de matorral” y “pasto sobre suelo desnudo”.

En un grado de influencia sobre la vegetación menor que los anteriores, aunque no por ello desdeñable, se sitúa el estado de desarrollo de la masa. Vemos que las categorías “fustal adulto” y “fustal joven” tienen mayor vigor que el “latizal alto” y “latizal bajo” como cabía esperar, aunque sorprende algo que el “fustal joven” tenga un mayor NDVI que el “fustal adulto”. Esto se puede achacar a la escasa superficie que ocupan (3% y 4%). Por otra parte, entre “latizal alto”, “latizal bajo” y las dos mezclados ocupan un 80% de la superficie.

El estado de desarrollo de la masa está íntimamente relacionado con el diámetro cuadrático, que, como hemos visto, aunque tiene una correlación con el NDVI positiva, es la que tiene el valor más bajo de todas las variables dasométricas estudiadas. Todo ello nos hace comprobar la coherencia entre sí de los dos resultados.

El tercer y último objetivo es analizar la evolución temporal del índice de vegetación NDVI en el monte de Torrero en el periodo comprendido entre los años 2013 y 2020 y su relación con las condiciones climáticas interanuales.

Los niveles de vigor de la vegetación existentes en los montes de Torrero están influenciados por las condiciones de todo tipo que se producen entre los años 2013 y 2020.

En esa escala temporal, se observa una alta correlación entre el NDVI y el SPI-24, siendo posible afirmar que la respuesta temporal de la actividad vegetal está íntimamente relacionada con las sequías climáticas y las condiciones de humedad existentes.

Los resultados obtenidos nos permiten concluir que las técnicas de teledetección mediante imágenes LANDSAT se muestran como unas herramientas muy útiles tanto para entender la respuesta de la vegetación en función de sus características como para caracterizar el efecto de las sequías sobre las cubiertas vegetales.

En este trabajo, como ya se ha citado, se ha tomado como punto de partida el inventario forestal y la caracterización de los montes de Torrero publicado en el documento en 2014 “Memoria y resultados de la fase 1. Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 ENV/ES/000567”.

Esta acción B.7.2 era un plan de orientaciones forestales para el Monte de Torrero para permitir la regeneración del pulmón verde de Torrero mediante actuaciones y tratamientos demostrativos que mejorasen su biodiversidad. Todos los estudios y trabajos realizados en esa primera fase tuvieron como consecuencia la realización de un plan de acción forestal con una propuesta de actuaciones destinadas a mejorar y asegurar la permanencia de la masa forestal que puebla el monte. Las propuestas concretas que se hicieron como actuaciones selvícolas en el pinar de *Pinus halepensis* fueron la realización de una serie de claras en determinados rodales (en los siguientes diez años y a partir de diez y veinte años) y por otra parte la reforestación de algunas zonas desarboladas.

Transcurridos siete años sin que se haya realizado ninguna de las anteriores acciones propuestas, se considera que las conclusiones obtenidas en este trabajo sobre la influencia de la estructura del arbolado en el vigor de la vegetación de los montes de Torrero podrían ser de utilidad para los técnicos en medio ambiente en su toma de decisiones sobre futuras actuaciones forestales.

En concreto, la información aportada podría constituir un nuevo elemento de juicio para la realización de actuaciones destinadas a mejorar y asegurar la permanencia de la masa forestal que puebla los montes de Torrero mediante la aplicación del tratamiento necesario a cada una de ellas con objeto de que dicha masa se desarrolle con el mayor vigor posible y con ello aumente su estabilidad y biodiversidad.

Los criterios según los cuales se proponía la realización de claras en determinados rodales estaban relacionados con el índice de espaciamiento (relacionado a su vez con la altura dominante, número de pies por hectárea y fracción de cabida cubierta). Hemos visto que estas últimas variables tienen una buena correlación con el NDVI. Por este motivo, con carácter general, se refuerza la propuesta de realización de las claras en las zonas previstas. No obstante, si hubiera rodales en los que sus valores del NDVI fueran anormales se podría proponer en ellos la supresión de la clara.

Con ello se contribuiría a la consecución de uno de los objetivos a largo plazo de la acción B-7.2. “Mantenimiento o aumento del vigor de la masa y disminución de los ataques de plagas”.

La posibilidad de una expansión de los montes de Torrero en dirección sur es muy remota por razón de la calificación urbanística ya que los terrenos entre el límite sur de las zonas SC y S (Figura 23) y la Z-40 son urbanizables, estando ya parte de ellos urbanizados (Puerto Venecia al sur de la zona S)). Por otra parte, los terrenos situados entre el límite sur de las zonas E y V y la vía del tren al Este de Puerto Venecia tienen la calificación urbanística de No

urbanizables productivo agrario (SNU EP) y son de propiedad particular. Por último, los terrenos situados al sur de los montes de Torrero en su parte más occidental, entre el límite sur de la zona SW y la Z-40, lo constituyen dos áreas de distinta calificación. El área situada al este es urbanizable y se denomina “Tablones de los Frailes”. Sin embargo el área situada al oeste tiene una calificación urbanística de Ecosistema natural categoría Montes y suelos de repoblación forestal SNU EN (RF). Por ello, este último terreno sería la única posibilidad de expansión de los montes de Torrero. El problema que se habría que solventar para realizar la citada ampliación es que ese terreno, al ser privado, tendría que ser adquirido por el ayuntamiento o bien llegar a algún tipo de acuerdo con el propietario.

Caso de solventarse estos obstáculos, se propone la expansión del monte mediante regeneración natural en esa zona, ya que se observa que la única zona de los montes de Torrero con presencia conjunta de regenerado y diseminado es precisamente la que limita con la posible zona de expansión. La expansión por el resto de terrenos que limitan al sur es inviable en primer lugar, como hemos visto, por su calificación urbanística pero, aparte de ello, tampoco sería posible por su escaso potencial de regeneración natural.

Bibliografía:

Addinsoft (2021). XLSTAT statistical and data analysis solution. New York, USA. <https://www.xlstat.com>.

Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Cobb, N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 660-684.

Amat, R. J. (2016). ANOVA Análisis de varianza para comparar medidas. Lugar de publicación: [cienciadedatos.net](https://www.cienciadedatos.net/documentos/19_anova). https://www.cienciadedatos.net/documentos/19_anova

Ariza, A. (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Ayuntamiento de Zaragoza. (2014). Memoria y resultados de la fase 1. Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE Zaragoza natural. LIFE 12 ENV/ES/000567.

Ayuntamiento de Zaragoza. (2014). Propuestas de actuación del plan de orientaciones forestales del monte de torrero. Programa LIFE 12 ENV/ES/000567- acción B7.

Ayuntamiento de Zaragoza. (1998) Documento técnico “Antecedentes” Proyecto de ordenación de los montes de Torrero 1998.

Cabanillas Saldaña, A. M. Bases para la gestión de masas naturales de pinus halepensis mill. en el valle del Ebro. Publicaciones del Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Investigación.

Cervera, T., Coello, J., Guitart, L., Piqué, M., & Rovira, J. (2021). Políticas locales, cambio climático y gestión forestal en bosques periurbanos: una integración necesaria. CTFC centro tecnológico forestal de Cataluña.

Cuadrat Prats, J.-M., Martín, S., & Serrano, V. (2002) Desarrollo de un método analítico para la obtención del SPI (Standardized Precipitation Index) como herramienta para el seguimiento y prevención de sequías climáticas <https://monitordesequia.csic.es/monitor/?lang=es#index=spei#months=1#week=3#month=8#year=2021>.

Domínguez Lerena, S. (2013). Los bosques y su gestión responsable Forest Steward Council (FSC).

Edwards, D. C. y T. B. McKee, (1997). Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report 97-2*, Departamento de Ciencia Atmosférica, Universidad del Estado de Colorado, Fort Collins, Colorado.

Erviti, J.J. (1991) Desarrollo de modelos de crecimiento y producción de las masas forestales de Pinus halepensis Mill. en España. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica, Madrid. p. 319.

Fábregas Reigosa, J.I. & Avila Calzada, C. (2005). Documento 1 “Memoria” del proyecto de gestión de usos y ordenación paisajística del monte de torrero. Ayuntamiento de Zaragoza.

Gómez Loranca J.A., Cámara Obregón, A. y Grau Corbí, J.M. (1997). Curvas de calidad de estación para Pinus halepensis Mill. e idoneidades fitoclimáticas. II Congreso Forestal Español, IRATI. Pamplona.

- Ji, L., & Peters, A. J. (2003). Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices. *Remote Sensing of Environment*, 87(1): 85-98.
- Keyantash, J. & Dracup, J.A. (2002). The Quantification of Drought: An Analysis of Drought Indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83 (8), 1167-1180.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales, *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, American Meteorological Society, Boston. pp. 179–184.
- Madoz, P. (1806-1870). *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar*.
- Muñoz Aguayo, P. (2013). *Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación*. Centro de Información de Recursos Naturales.
- Organización Meteorológica Mundial. (2012). *Índice normalizado de precipitación. Guía del usuario*. OMM-No 1090
- Plan de acción de la UE para los bosques 2006 (COM (2006) 302 final, 15.6.2006)
- Salbitano F., Borelli S., Conigliaro M., & Chen, Y. (2017) *Directrices para la silvicultura urbana y periurbana*. Estudio FAO Roma
- Sánchez, E., Torres, M., Fernández, A., Aguilar, M., Pino, S., & Granado, L. (2000). Comparación del NDVI con el PVI y el SAVI como Indicadores para la Asignación de Modelos de Combustible para la Estimación del Riesgo de Incendios en Andalucía. *Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible* Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá, 2000: 164-174 Disponible en Internet en: http://age.ieg.csic.es/metodos/docs/IX_2/Sanchez_Esperanza.PDF
- Savall y Dronda, P. y Penen y Debesa, S. (1862). *Estatutos y ordinaciones de montes y Huertas de la ciudad de Zaragoza*.
- Saz Sánchez, M. A. (2021) Dpto. de Geografía. Universidad de Zaragoza. Cambio global y gestión de riesgos naturales: riesgos naturales-riesgos climáticos-sequías. Presentación ppt
- Serrada, R., Montero, G., y Reque, J.A. (2008). *Compendio de selvicultura aplicada en España*
- Serrada Hierro, R. (2017) *La restauración forestal de España: 75 años de una ilusión* Sociedad Española de Ciencias Forestales. Cap.14. La Silvicultura en las repoblaciones realizadas según el Plan General de Repoblación Forestal de España en su 75 aniversario. Ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente.
- Tello Hernández, E. (2013). *Ordinaciones reales otorgadas a la ciudad de Zaragoza en el siglo XV De Fernando I a Fernando II*.
- Terrill W, Ray. (1994). *A FAQ on Vegetation in Remote Sensing* de la División de Ciencias Geológicas y Planetarias, California Institute of Technology. <http://www.yale.edu/ceo/Documentation/rsvegfaq.html> 1/04/2013

Anexo 1.-Mapas de valores medios por hectárea para cada celda de las variables dasométricas en los montes de torrero.

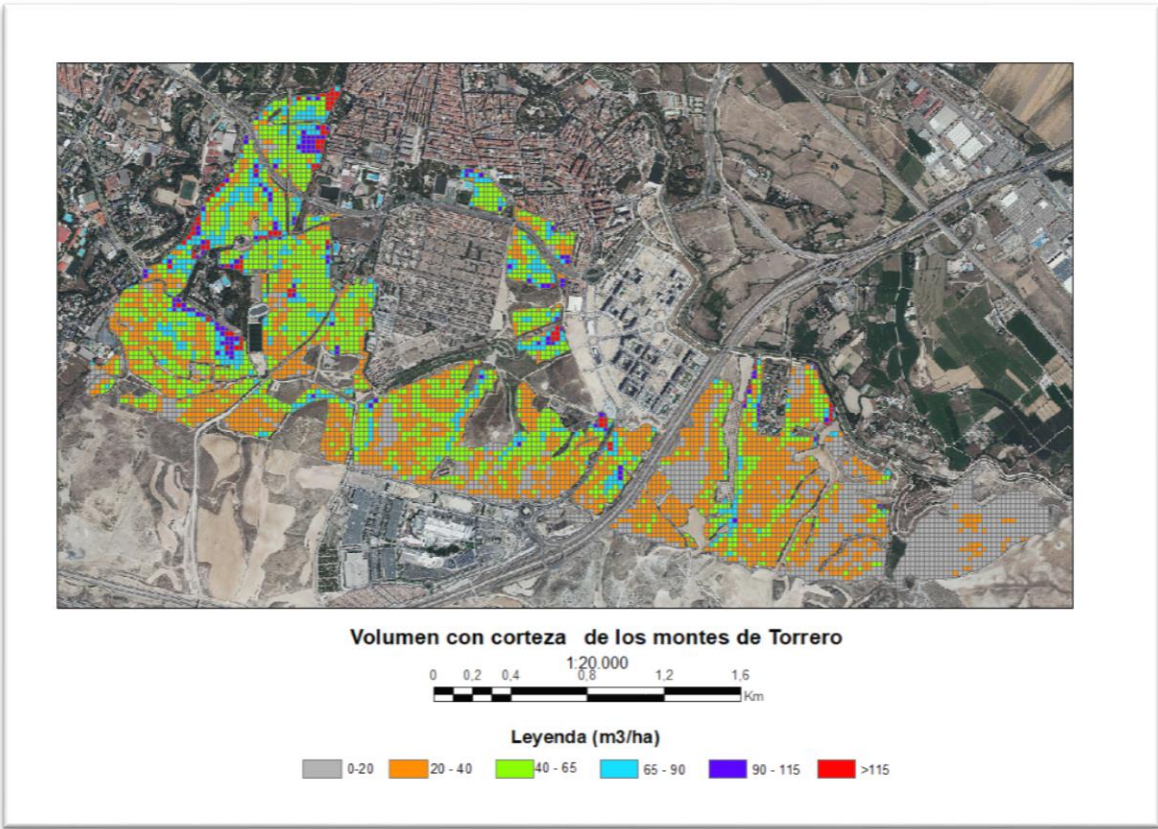


Figura 1A Mapa de VCC de los montes de Torrero. Elaboración propia .Fuente Memoria y resultados de la fase 1.Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "Estadísticos LIDAR"

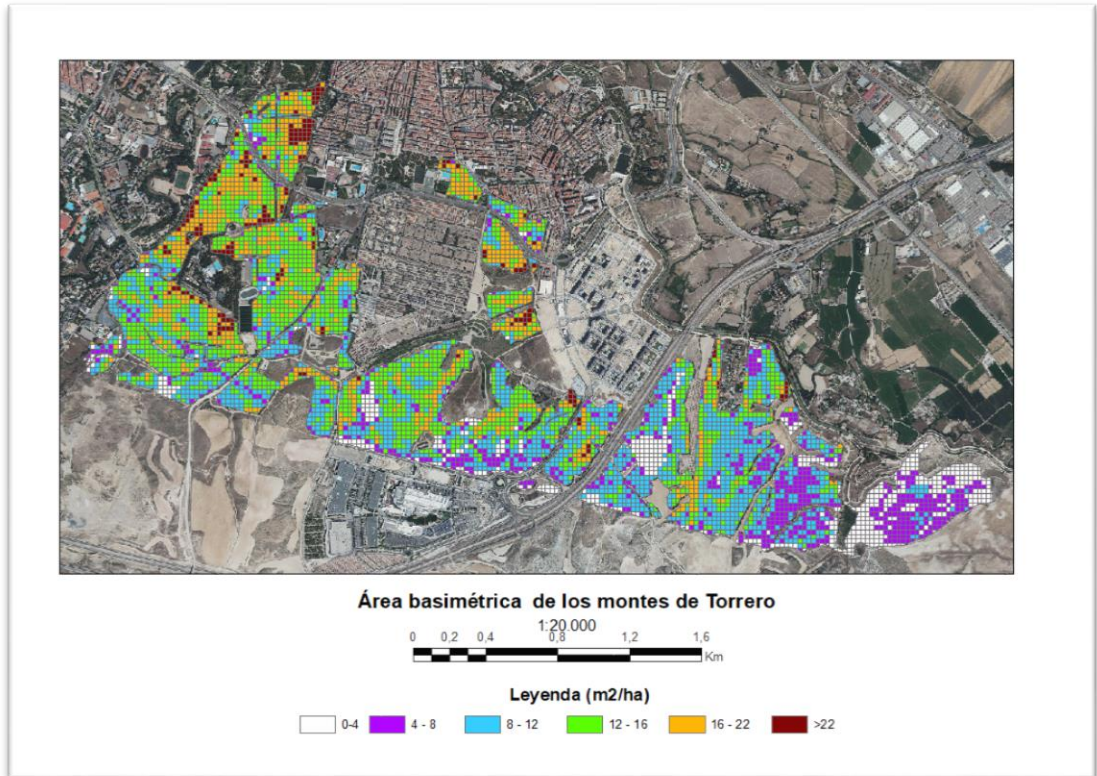
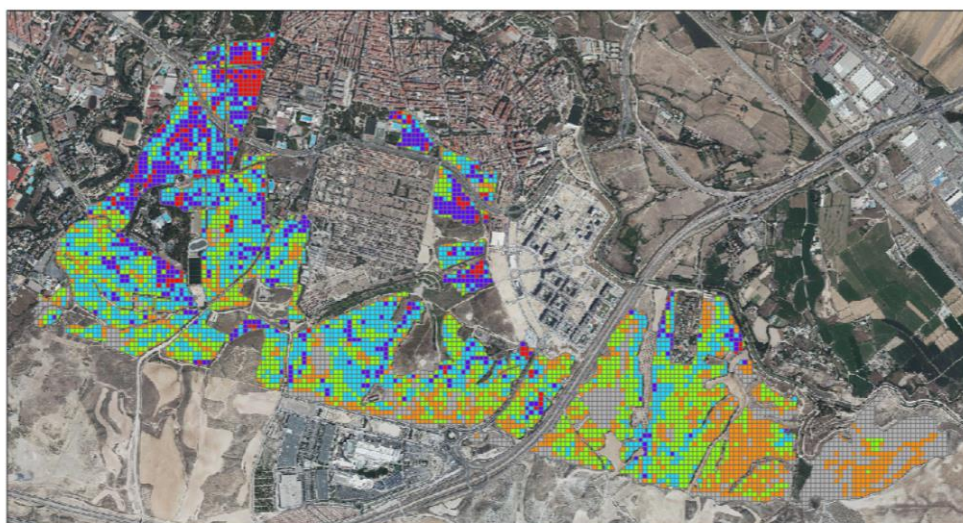


Figura 2A. Mapa de G de los montes de Torrero. Elaboración propia .Fuente Memoria y resultados de la fase 1.Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "Estadísticos LIDAR"



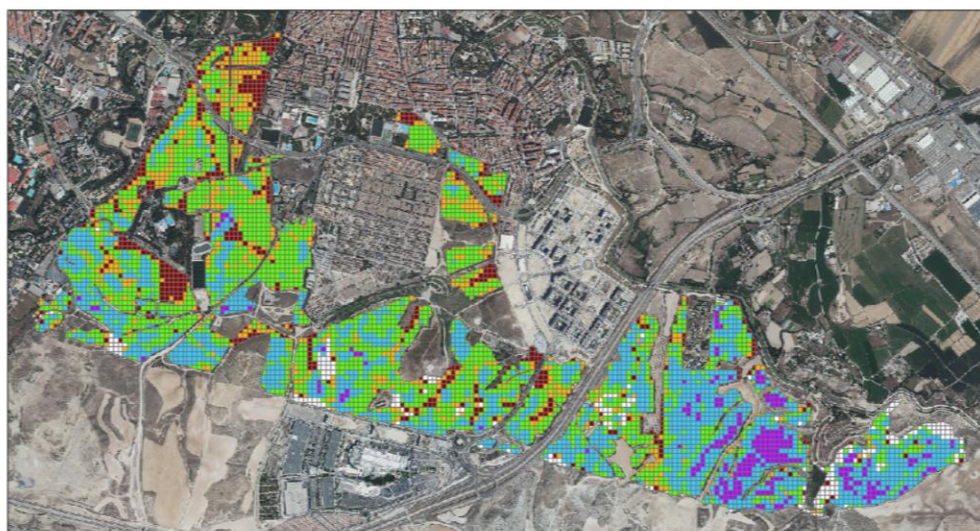
Incremento anual de volumen con corteza de los montes de Torrero

0 0.2 0.4 0.8 1.2 1.6 Km

Leyenda (m3/ha)

0-0.7 0.7-1.4 1.4-2.1 2.1-2.9 2.9-4.1 >4.1

Figura 3A Mapa de IAVcc de los montes de Torrero. Elaboración propia .Fuente Memoria y resultados de la fase 1.Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "Estadísticos LIDAR"



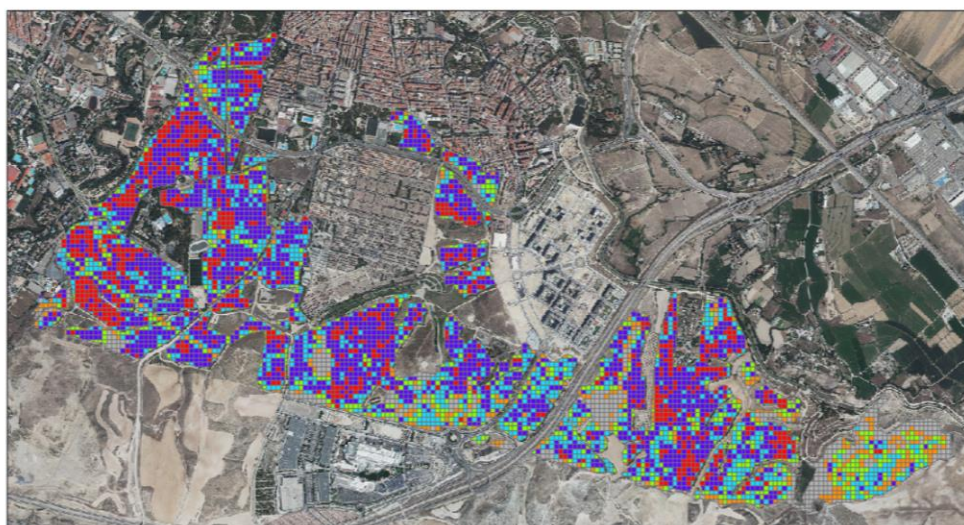
Diámetro cuadrático de los montes de Torrero

0 0.2 0.4 0.8 1.2 1.6 Km

Leyenda (cm)

0 0-15 15-18 18-21 21-23 >23

Figura 4A Mapa de Dg de los montes de Torrero. Elaboración propia .Fuente Memoria y resultados de la fase 1.Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "Estadísticos LIDAR"



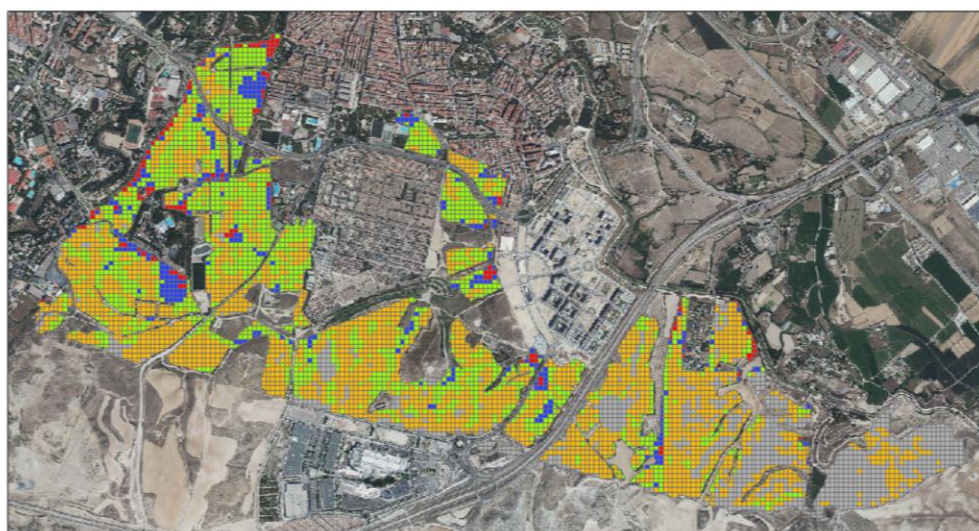
Número de pies por hectárea de los montes de Torrero

0 0.2 0.4 0.8 1.2 1.6
Km

Leyenda (Npies/ha)

0-100 100 - 210 210 - 320 320 - 430 430 - 540 >540

Figura 5A Mapa de Np de los montes de Torrero. Elaboración propia .Fuente Memoria y resultados de la fase 1.Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "Estadísticos LIDAR"



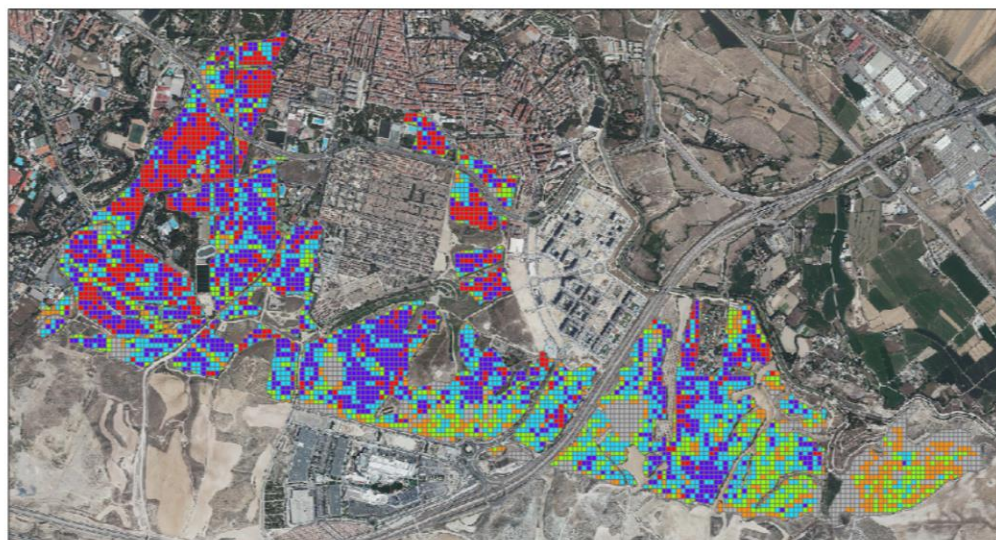
Altura dominante (Ho) de los montes de Torrero

0 0.2 0.4 0.8 1.2 1.6
Km

Leyenda (m)

0-6 6 - 9 9 - 12 12 - 15 >15

Figura 6A Mapa de Ho de los montes de Torrero. Elaboración propia .Fuente Memoria y resultados de la fase 1.Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "Estadísticos LIDAR"



Fracción de cabida cubierta de los montes de Torrero

0 0.2 0.4 0.8 1.2 1.6
1:20,000
Km

Leyenda (%)

0-10 10-25 25-40 40-55 55-68 >68

Figura 7A Mapa de FCC de los montes de Torrero. Elaboración propia. Fuente Memoria y resultados de la fase 1. Inventario y diagnóstico del plan de orientaciones forestales montes de torrero B.7.2. LIFE ZARAGOZA NATURAL. LIFE 12 .ENV/ES/000567. Capa "Estadísticos LIDAR"

Anexo 2.- Tablas de análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% para los distintos tipos de caracterización (NDVI). Test de bonferroni.

CLASES DE EDAD. Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (NDVI):					
Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
70-80 vs 20-30	0,087	9,209	2,940	<0,0001	Si
70-80 vs 50-60	0,042	4,791	2,940	<0,0001	Si
70-80 vs 40-50	0,038	4,320	2,940	<0,0001	Si
70-80 vs 30-40	0,032	3,268	2,940	0,001	Si
70-80 vs 60-70	0,026	2,928	2,940	0,003	No
60-70 vs 20-30	0,061	12,647	2,940	<0,0001	Si
60-70 vs 50-60	0,016	4,333	2,940	<0,0001	Si
60-70 vs 40-50	0,012	3,248	2,940	0,001	Si
60-70 vs 30-40	0,006	1,060	2,940	0,289	No
30-40 vs 20-30	0,055	9,338	2,940	<0,0001	Si
30-40 vs 50-60	0,011	2,006	2,940	0,045	No
30-40 vs 40-50	0,006	1,169	2,940	0,243	No
40-50 vs 20-30	0,049	11,003	2,940	<0,0001	Si
40-50 vs 50-60	0,004	1,444	2,940	0,149	No
50-60 vs 20-30	0,044	9,782	2,940	<0,0001	Si
Nivel de significación corregido:			0,003		

Tabla 1A Tabla de análisis de las diferencias entre las categorías de Clases de edad. Elaboración propia

CALIDAD DE LA ESTACIÓN. Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (NDVI):					
Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
II vs V	0,028	4,264	2,811	<0,0001	Si
II vs IV	0,024	3,638	2,811	0,000	Si
II vs III	0,012	1,750	2,811	0,080	No
II vs I	0,008	1,222	2,811	0,222	No
I vs V	0,020	3,042	2,811	0,002	Si
I vs IV	0,016	2,417	2,811	0,016	No
I vs III	0,004	0,528	2,811	0,598	No
III vs V	0,017	2,514	2,811	0,012	No
III vs IV	0,013	1,888	2,811	0,059	No
IV vs V	0,004	0,626	2,811	0,532	No
Nivel de significación corregido:			0,005		

Tabla 2A Tabla de análisis de las diferencias entre las categorías de Calidad de la estación. Elaboración propia

SOTOBOSQUE. Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (NDVI):					
Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
Lecho forestal con matorral o/y pasto disperso vs Cobertura media de matorral	0,038	12,092	2,810	<0,0001	Si
Lecho forestal con matorral o/y pasto disperso vs Pasto sobre suelo desnudo	0,024	3,820	2,810	0,000	Si
Lecho forestal con matorral o/y pasto disperso vs Pastizal	0,006	1,892	2,810	0,059	No
Lecho forestal con matorral o/y pasto disperso vs Matorral abundante	0,005	0,649	2,810	0,516	No
Matorral abundante vs Cobertura media de matorral	0,033	3,794	2,810	0,000	Si
Matorral abundante vs Pasto sobre suelo desnudo	0,019	1,837	2,810	0,066	No
Matorral abundante vs Pastizal	0,001	0,114	2,810	0,909	No
Pastizal vs Cobertura media de matorral	0,032	8,229	2,810	<0,0001	Si
Pastizal vs Pasto sobre suelo desnudo	0,018	2,646	2,810	0,008	No
Pasto sobre suelo desnudo vs Cobertura media de matorral	0,014	2,110	2,810	0,035	No
Nivel de significación corregido:			0,005		

Tabla de análisis de las diferencias entre las categorías de Sotobosque. Elaboración propia

COBERTURA. Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (NDVI)					
Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
Pinar pinea denso vs Pinar halepensis ralo	0,133	10,607	3,266	<0,0001	Si
Pinar pinea denso vs Rasa	0,096	7,676	3,266	<0,0001	Si
Pinar pinea denso vs Pinar halepensis abierto	0,089	7,066	3,266	<0,0001	Si
Pinar pinea denso vs Pinar pinea ralo	0,083	6,593	3,266	<0,0001	Si
Pinar pinea denso vs Pinar halepensis denso con huecos	0,057	4,499	3,266	<0,0001	Si
Pinar pinea denso vs Pinar pinea abierto	0,054	4,315	3,266	<0,0001	Si
Pinar pinea denso vs Pinar pinea denso con huecos	0,038	3,050	3,266	0,002	No
Pinar pinea denso vs Pinar halepensis denso	0,037	2,912	3,266	0,004	No
Pinar pinea denso vs Pinar canariensis denso	0,027	2,123	3,266	0,034	No
Pinar canariensis denso vs Pinar halepensis ralo	0,107	8,484	3,266	<0,0001	Si
Pinar canariensis denso vs Rasa	0,070	5,552	3,266	<0,0001	Si
Pinar canariensis denso vs Pinar halepensis abierto	0,062	4,943	3,266	<0,0001	Si
Pinar canariensis denso vs Pinar pinea ralo	0,056	4,470	3,266	<0,0001	Si
Pinar canariensis denso vs Pinar halepensis denso con huecos	0,030	2,375	3,266	0,018	No
Pinar canariensis denso vs Pinar pinea abierto	0,028	2,192	3,266	0,029	No
Pinar canariensis denso vs Pinar pinea denso con huecos	0,012	0,927	3,266	0,354	No
Pinar canariensis denso vs Pinar halepensis denso	0,010	0,789	3,266	0,430	No
Pinar halepensis denso vs Pinar halepensis ralo	0,097	7,695	3,266	<0,0001	Si
Pinar halepensis denso vs Rasa	0,060	4,764	3,266	<0,0001	Si
Pinar halepensis denso vs Pinar halepensis abierto	0,052	4,154	3,266	<0,0001	Si
Pinar halepensis denso vs Pinar pinea ralo	0,046	3,682	3,266	0,000	Si
Pinar halepensis denso vs Pinar halepensis denso con huecos	0,020	1,587	3,266	0,113	No
Pinar halepensis denso vs Pinar pinea abierto	0,018	1,403	3,266	0,161	No
Pinar halepensis denso vs Pinar pinea denso con huecos	0,002	0,138	3,266	0,890	No
Pinar pinea denso con huecos vs Pinar halepensis ralo	0,095	7,557	3,266	<0,0001	Si
Pinar pinea denso con huecos vs Rasa	0,058	4,625	3,266	<0,0001	Si
Pinar pinea denso con huecos vs Pinar halepensis abierto	0,050	4,016	3,266	<0,0001	Si
Pinar pinea denso con huecos vs Pinar pinea ralo	0,045	3,543	3,266	0,000	Si
Pinar pinea denso con huecos vs Pinar halepensis denso con huecos	0,018	1,448	3,266	0,148	No
Pinar pinea denso con huecos vs Pinar pinea abierto	0,016	1,264	3,266	0,206	No
Pinar pinea abierto vs Pinar halepensis ralo	0,079	6,292	3,266	<0,0001	Si
Pinar pinea abierto vs Rasa	0,042	3,361	3,266	0,001	Si
Pinar pinea abierto vs Pinar halepensis abierto	0,035	2,751	3,266	0,006	No
Pinar pinea abierto vs Pinar pinea ralo	0,029	2,279	3,266	0,023	No
Pinar pinea abierto vs Pinar halepensis denso con huecos	0,002	0,184	3,266	0,854	No
Pinar halepensis denso con huecos vs Pinar halepensis ralo	0,077	6,108	3,266	<0,0001	Si
Pinar halepensis denso con huecos vs Rasa	0,040	3,177	3,266	0,002	No
Pinar halepensis denso con huecos vs Pinar halepensis abierto	0,032	2,567	3,266	0,010	No
Pinar halepensis denso con huecos vs Pinar pinea ralo	0,026	2,095	3,266	0,036	No
Pinar pinea ralo vs Pinar halepensis ralo	0,050	4,013	3,266	<0,0001	Si
Pinar pinea ralo vs Rasa	0,014	1,082	3,266	0,279	No
Pinar pinea ralo vs Pinar halepensis abierto	0,006	0,473	3,266	0,637	No
Pinar halepensis abierto vs Pinar halepensis ralo	0,045	3,541	3,266	0,000	Si
Pinar halepensis abierto vs Rasa	0,008	0,610	3,266	0,542	No
Rasa vs Pinar halepensis ralo	0,037	2,931	3,266	0,003	No
Nivel de significación corregido:			0,001		

Tabla 4A Tabla de análisis de las diferencias entre las categorías de Cobertura. Elaboración propia

POSICIÓN OROGRÁFICA. Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (NDVI)					
Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
Ribera vs Ladera	0,051	7,175	2,641	<0,0001	Si
Ribera vs Llano	0,029	4,098	2,641	<0,0001	Si
Ribera vs Vaguada	0,014	1,799	2,641	0,072	No
Vaguada vs Ladera	0,037	10,101	2,641	<0,0001	Si
Vaguada vs Llano	0,016	4,139	2,641	<0,0001	Si
Llano vs Ladera	0,022	7,541	2,641	<0,0001	Si
Nivel de significación corregido:			0,008		

Tabla 5A Tabla de análisis de las diferencias entre las categorías de posición orográfica. Elaboración propia

ESTADO DE DESARROLLO DE LA MASA. Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (NDVI)					
Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
FJ vs LB	0,093	12,277	3,202	<0,0001	Si
FJ vs LB-MB	0,085	11,187	3,202	<0,0001	Si
FJ vs MB	0,069	9,186	3,202	<0,0001	Si
FJ vs LBxLA	0,065	8,633	3,202	<0,0001	Si
FJ vs LA	0,051	6,694	3,202	<0,0001	Si
FJ vs Irregular	0,047	6,169	3,202	<0,0001	Si
FJ vs LAxFJ	0,036	4,761	3,202	<0,0001	Si
FJ vs FA	0,028	3,707	3,202	0,000	Si
FA vs LB	0,065	8,570	3,202	<0,0001	Si
FA vs LB-MB	0,057	7,480	3,202	<0,0001	Si
FA vs MB	0,041	5,479	3,202	<0,0001	Si
FA vs LBxLA	0,037	4,926	3,202	<0,0001	Si
FA vs LA	0,023	2,987	3,202	0,003	No
FA vs Irregular	0,019	2,462	3,202	0,014	No
FA vs LAxFJ	0,008	1,054	3,202	0,292	No
LAxFJ vs LB	0,057	7,516	3,202	<0,0001	Si
LAxFJ vs LB-MB	0,049	6,426	3,202	<0,0001	Si
LAxFJ vs MB	0,033	4,425	3,202	<0,0001	Si
LAxFJ vs LBxLA	0,029	3,873	3,202	0,000	Si
LAxFJ vs LA	0,015	1,934	3,202	0,053	No
LAxFJ vs Irregular	0,011	1,408	3,202	0,159	No
Irregular vs LB	0,046	6,108	3,202	<0,0001	Si
Irregular vs LB-MB	0,038	5,018	3,202	<0,0001	Si
Irregular vs MB	0,023	3,017	3,202	0,003	No
Irregular vs LBxLA	0,019	2,464	3,202	0,014	No
Irregular vs LA	0,004	0,525	3,202	0,599	No
LA vs LB	0,042	5,582	3,202	<0,0001	Si
LA vs LB-MB	0,034	4,493	3,202	<0,0001	Si
LA vs MB	0,019	2,491	3,202	0,013	No
LA vs LBxLA	0,015	1,939	3,202	0,053	No
LBxLA vs LB	0,028	3,643	3,202	0,000	Si
LBxLA vs LB-MB	0,019	2,554	3,202	0,011	No
LBxLA vs MB	0,004	0,552	3,202	0,581	No
MB vs LB	0,023	3,091	3,202	0,002	No
MB vs LB-MB	0,015	2,001	3,202	0,046	No
LB-MB vs LB	0,008	1,090	3,202	0,276	No
Nivel de significación corregido:			0,001		

Tabla 6A Tabla de análisis de las diferencias entre las categorías de Estado de desarrollo de masa. Elaboración propia

PRESENCIA DE REGENERACIÓN. Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (NDVI)					
Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
Presencia de diseminado vs Presencia de regenerado	0,026	2,548	2,641	0,011	No
Presencia de diseminado vs No hay	0,003	0,982	2,641	0,326	No
Presencia de diseminado vs Presencia de diseminado y regenerado	0,003	0,361	2,641	0,718	No
Presencia de diseminado y regenerado vs Presencia de regenerado	0,023	1,735	2,641	0,083	No
Presencia de diseminado y regenerado vs No hay	0,000	0,001	2,641	0,999	No
No hay vs Presencia de regenerado	0,023	2,299	2,641	0,022	No
Nivel de significación corregido:			0,008		

Tabla 7A Tabla de análisis de las diferencias entre las categorías de presencia de regeneración. Elaboración propia

PRESENCIA DE PIÑAS. Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (NDVI)					
Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
En suelo y copa vs Solo en copa	0,022	3,578	2,397	0,000	Si
En suelo y copa vs Escasa	0,007	1,150	2,397	0,250	No
Escasa vs Solo en copa	0,015	5,323	2,397	<0,0001	Si
Nivel de significación corregido:			0,017		

Tabla 8A Tabla de análisis de las diferencias entre las categorías de presencia de piñas. Elaboración propia

Anexo 3.- Gráficos de dispersión de la relación del NDVI con las diferentes variables dasométricas

- Volumen con corteza (Vcc)

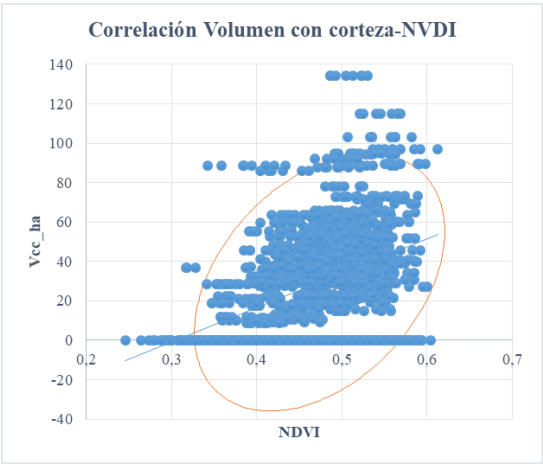


Figura 8A.- Grafico dispersión VCC. Elaboración propia

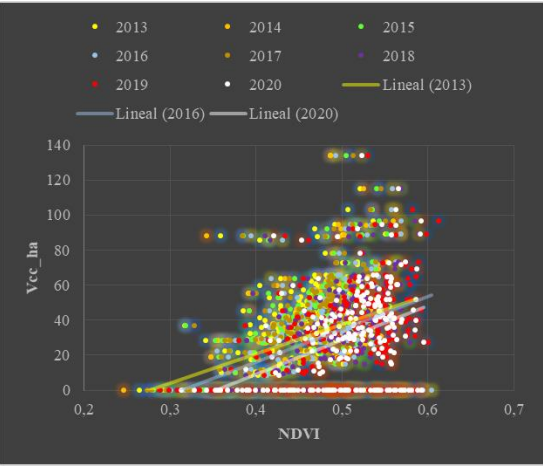


Figura 9A.- Grafico dispersión VCC por años .Elaboración propia

- Área basimétrica (G)

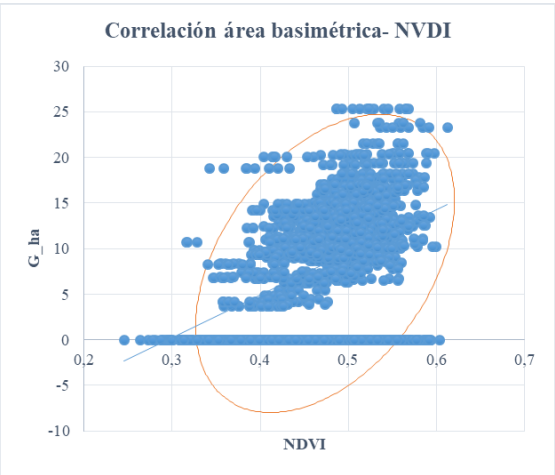


Figura 10A.- Grafico dispersión G .Elaboración propia

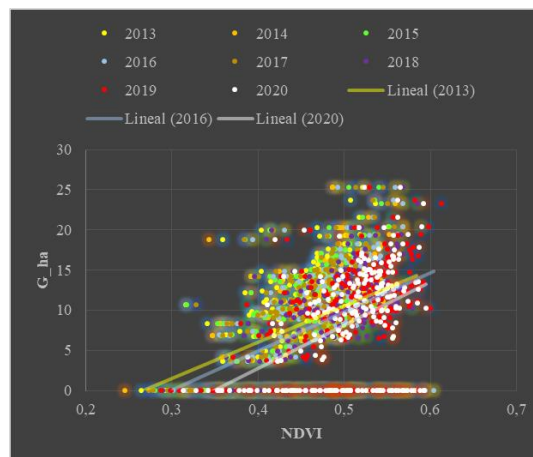


Figura 11A.- Grafico dispersión G por años .Elaboración propia

- Incremento anual de volumen con corteza (IAVcc)

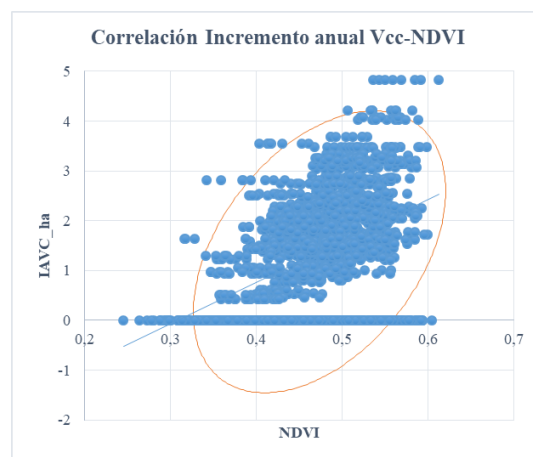


Figura 12A.- Grafico dispersión IAVCC .Elaboración propia

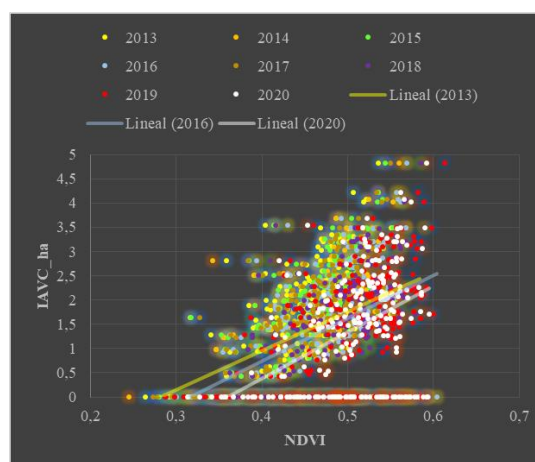


Figura 13A.- Grafico dispersión IAVCC por años .Elaboración propia

- Diámetro cuadrático medio (Dg)

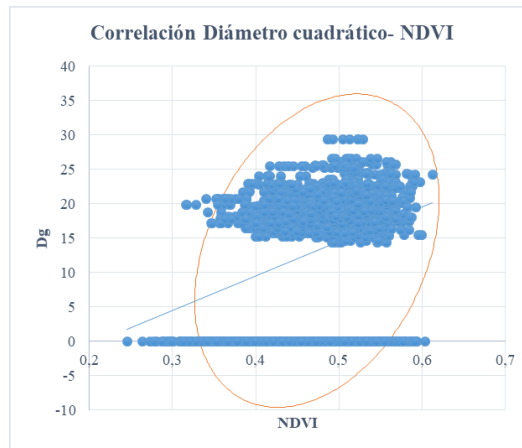


Figura 14A.- Grafico dispersión Dg .Elaboración propia

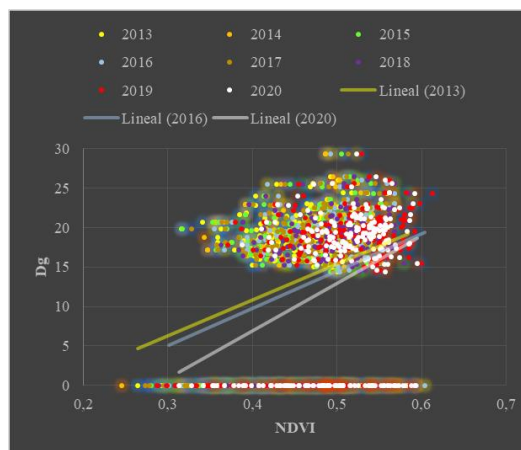


Figura 15A.- Grafico dispersión Dg por años .Elaboración propia

- Número de pies (N)

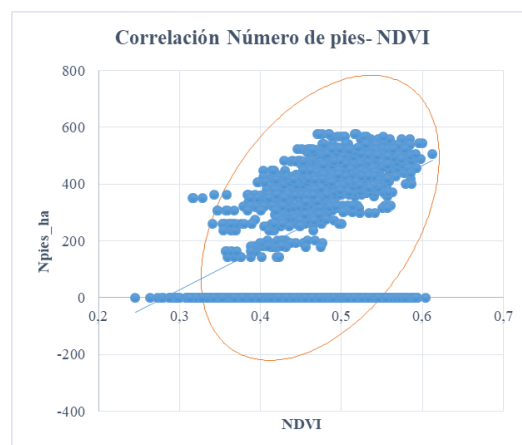


Figura 16A.- Grafico dispersión Npies .Elaboración propia

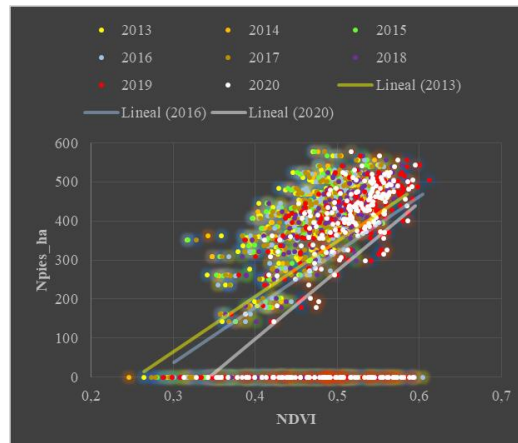


Figura 17A.- Grafico dispersión Npies por años .Elaboración propia

- Altura dominante (Ho)

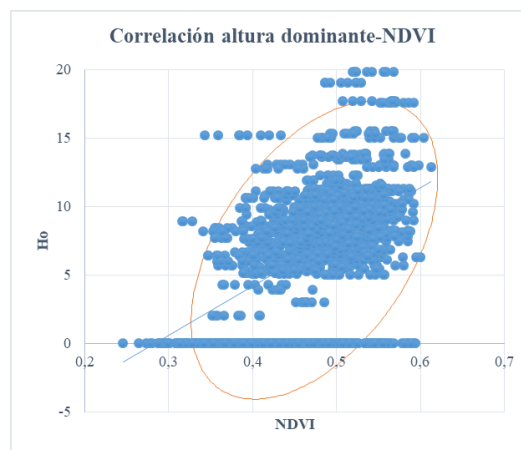


Figura 18A.- Grafico dispersión Ho .Elaboración propia

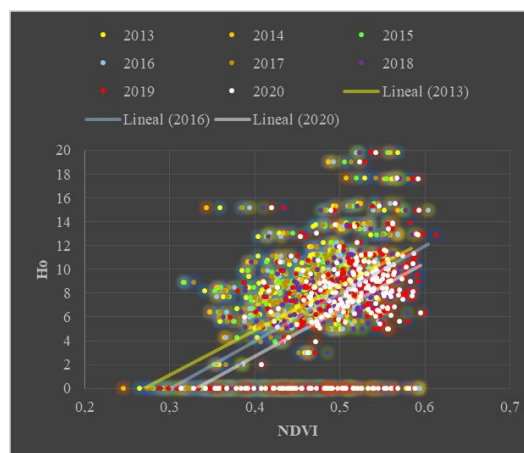


Figura 19A.- Grafico dispersión Ho por años .Elaboración propia

- Fracción de cabida cubierta (Fcc).

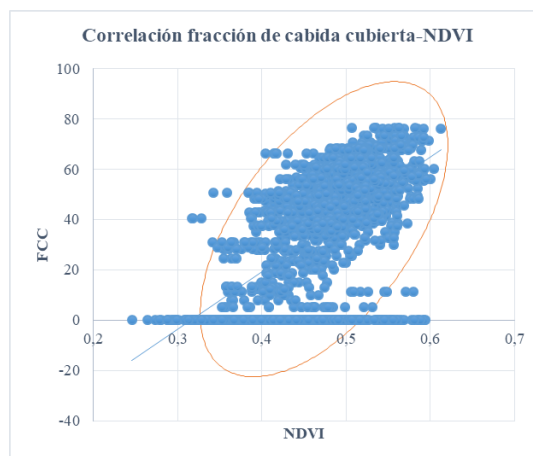


Figura 20A.- Grafico dispersión FCC .Elaboración propia

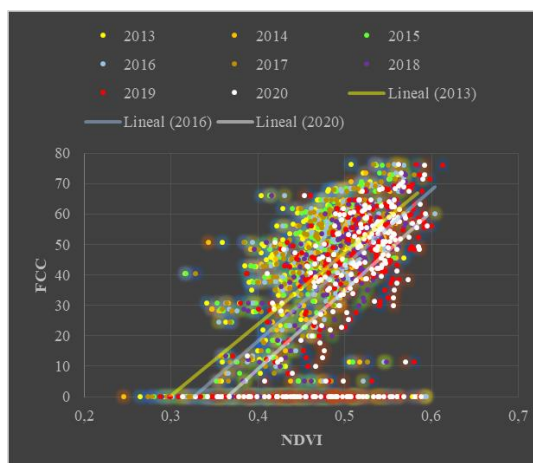


Figura 21A.- Grafico dispersión FCC por años .Elaboración propia